

ენა ლოგიკა კომპიუტერიზაცია

IV

ენის, ლოგიკისა და მეტყველების ცენტრი, თსუ
კურტ გოდელის საზოგადოება, ვენა

LANGUAGE LOGIC COMPUTATION

IV

**CLLS, Tbilisi State University
Kurt Gödel Society, Vienna**

2015

სარედაქციო კოლეგია: მათეას ბააზი, ვენის უნივერსიტეტი
გურამ ბეჟანიშვილი, ნიუ-მექსიკოს სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თამაზ გამყრელიძე, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
პოლ დეკერი, ამსტერდამის უნივერსიტეტი
დიკ დე იონგი, ამსტერდამის უნივერსიტეტი
მანფრედ კრიფკა, ბერლინის უნივერსიტეტი
ბარბარა პარტი, მასაჩუსეტის უნივერსიტეტი
ნანი ჭანიშვილი, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

გამოცემის რედაქტორები: რუსუდან ასათიანი
მარინე ივანიშვილი
ლადო ლეკიაშვილი
ეთერ სოსელია
მარიკა ჯიქია

დაკაბადონება: გიორგი ბაგრატიონი

Editorial Board: Matheas Baaz, University of Vienna
Guram Bezhanishvili, New Mexico State University
Nani ChaniSvili, Tbilisi State University
Paul Dekker, University of Amsterdam
Thomas Gamkrelidze, Tbilisi State University
Dick de Jong, University of Amsterdam
Manfred Krifka, University of Berlin
Barbara Partee, University of Massachusetts

Managing Editors: Rusudan Asatiani
Marine Ivanishvili
Lado Lekiasvili
Ether Soselia
Marika Jikia

Layout: George Bagrationi

შინაარსი
CONTENTS

წინასიტყვაობა Preface5

ენა LANGUAGE7

რეი ჯეკენდოფი, აზროვნება და მნიშვნელობა7

Irine Melikischwili, DAS WORTFELD “FREIHEIT” IN VERSCHIEDENEN
SPRACHKREISEN:DIE ENTWICKLUNG VOM SOZIALEN ZUM
INDIVIDUELLEN BEGRIFF50

ლოგიკა LOGIC56

რ. ფაგინი, ჯ. ი. პალპერნი, ი. მოსესი, მ. ი. ვარდი,
ცოდნის ლოგიკა56

Giorgi Japaridze, ON RESOURCES AND TASKS 117

კომპიუტარიზაცია COMPUTATION 138

როლანდ ჰაუსერი, ბუნებრივი ენის გამოთვლითი მოდელი 138

Natia Dundua, Armin Hoenen, Lela Samushia,
A PARALLEL CORPUS OF THE OLD GEORGIAN GOSPEL
MANUSCRIPTS AND THEIR STEMMATOLOGY 176

©

ენა ლოგიკა კომპიუტერიზაცია
Language Logic Computation

ISSN 1512-3170

გამომცემლობა „ნეკერი“, 2015

წინასიტყვაობა

ორენოვანი ჟურნალი 'ენა, ლოგიკა, კომპიუტერიზაცია' აგრძელებს, ერთი მხრივ, ენის, ლოგიკისა და კომპიუტერიზაციის კვლევასთან დაკავშირებული კლასიკური და უახლესი უცხოენოვანი ლიტერატურის ქართულ ენაზე თარგმანების გამოქვეყნებას, მეორე მხრივ კი, საერთაშორისო სამეცნიერო წრეებს აცნობს ქართველ მეცნიერთა შრომებს ინგლისურ და/ან გერმანულ ენებზე.

ჟურნალი მომზადდა თსუ 'ენის, ლოგიკისა და მეტყველების' ცენტრის ინიციატივითა და კურტ გოდელის საზოგადოების, უშუალოდ ვენის უნივერსიტეტის პროფესორ მათიას ბააზის დახმარებით, რისთვისაც მას უღრმეს მადლობას მოვახსენებთ.

გამოცემის რედაქტორები

PREFACE

This journal introduces a new volume of “The Georgian Journal for Language Logic Computation” edited by the CLLS of TSU with support of the International Kurt Gödel Society in Vienna. The aims of the journal are twofold: It should increase the availability of the most fundamental publications of logic and linguistics to the general Georgian audience by translating them into Georgian language. In addition it should promote the international access to important papers of Georgian scientists hitherto untranslated by editing them in English. The volume will therefore establish a forum for the Georgian public and international and Georgian scientists to promote the awareness of the international research in logic and linguistics in Georgia. It should be considered as part of the efforts to reestablish Georgia within the European research space.

Matheas Baaz

აზროვნება და მნიშვნელობა

რეი ჯეკენდოფი¹

რეი ჯეკენდოფი არის ფილოსოფიის პროფესორი და კოგნიტიურ მეცნიერებათა ცენტრის დირექტორი ტაფტსის უნივერსიტეტში. თავისი წიგნის შესავალში (რომლის სახელწოდება ორიგინალში არის *A User's Guide to Thought and Meaning*, რაც სიტყვა-სიტყვით ითარგმნება როგორც „სახელმძღვანელო აზროვნებასა და მნიშვნელობაში“), ავტორი აღნიშნავს: „ამ წიგნში იმ პრობლემათა რიგს გავუყვები, რომელთა შესახებ აგერ უკვე 30 წელია ვფიქრობ და ვწერ. ტრადიციული მეცნიერული გამოკვლევა რომ დამეწერა, ათას გვერდს გასცდებოდა ნაშრომის მოცულობა და ალბათ წერას ვერც დავასრულებდი, და რომც დამესრულებინა, ალბათ თქვენ არც კი წაიკითხავდით. სამაგიეროდ, ვისარგებლე შემთხვევით და ისე დავწერე, რომ წაეკითხა ყველას, ვისაც აინტერესებს აზროვნება და მნიშვნელობა. ვიმედოვნებ, რომ სპეციალისტები მაპატიებენ ჩემს არაფორმალურ სტილს და მათთვის შესაძლოა საინტერესოც კი აღმოჩნდეს, თუ როგორ ვაკავშირებ ერთმანეთთან თემებს ლინგვისტიკიდან, ფილოსოფიიდან, კოგნიტიური მეცნიერებიდან და ხელოვნებიდან. ზოგიერთი მონაკვეთი წიგნისა (მაგრამ არა ყველა) უფრო სრული სახით წარმოდგენილია ჩემს სხვა ნაშრომებში, როგორებიცაა: *Semantics and Cognition* („სემანტიკა და შემეცნება“), *Consciousness and Computational Mind* („ცნობიე-

¹ Ray Jackendoff, 2012. *A User's Guide to Thought and Meaning*, Oxford: Oxford University Press.

LANGUAGE

რება და გამოთვლითი გონება“), *Foundations of Language* („ენის საფუძვლები“) და *Language, Consciousness, Culture* („ენა, ცნობიერება და კულტურა“). “

სტივენ პინკერი, ჰარვარდის კოლეჯის ფსიქოლოგიის პროფესორი, მაღალ შეფასებას აძლევს რ.ჯეკენდოფის ნაშრომსა და თავად ავტორს: „რეი ჯეკენდოფი არის მნიშვნელოვანი ფიგურა ენათმეცნიერებაში, რომელმაც ნებისმიერ სხვა თანამედროვე მეცნიერზე უკეთ შეძლო ეჩვენებინა, რომ ადამიანის ბუნებაში სარკმლის შეღება ენის მეშვეობით არის შესაძლებელი. თეორიული სიღრმისა და დეტალებისადმი სიყვარულის შერწყმით ჯეკენდოფმა ნათელი მოჰფინა ადამიანურ ლოგიკასა და შემეცნებას, რაც საოცარი სიცხადით წარმოაჩინა.“

გთავაზობთ რ. ჯეკენდოფის აღნიშნული ნაშრომის I ნაწილის V-X თავების თარგმანს.

ნაწილი I. ენა, სიტყვები და მნიშვნელობა

5

რა არის სიტყვა?

უპირველესად, სანამ მნიშვნელობის პრობლემას შევეჭიდებით, უნდა ჩავუღრმავდეთ ენის რაობის საკითხს. ცხადია, ენის მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენენ სიტყვები. სწორედ ამიტომ, ამჯერად, ჩემი შეკითხვა იქნება: „რა არის სიტყვა?“

ალბათ მოსალოდნელია, რომ სიტყვას იგივე თავისებურებანი ახასიათებდეს, რაც – ენას. სიტყვა *puddle* („გუბე“) შეიძლება გვეგონოს ის რაღაც, რასაც მოლაპარაკე იყენებს და რაც არის გარე სამყაროში. მაგრამ სად არის ის რაღაც? ის, რა თქმა უნდა, გუბეში არ არის!²

როგორ მოვიაზრებთ სიტყვას? სიტყვა *puddle* არსებობს მუდმივად თუ მხოლოდ მაშინ, როცა მას გამოიყენებენ? მე მგონია, რომ მუდმივად არსებობს. ძალიან კარგი, მაშინ ამ კითხვას ვუპასუხოთ: როგორია ის რაღაც, რაც არის სიტყვა *puddle*? ზოგჯერ, როდესაც სიტყვის შესახებ ვლაპარაკობთ, ის ჩაქუჩის მსგავსი რაღაც გვეგონია – ამოვიღებთ უჯრიდან მაშინ, როცა გვჭირდება. („მაშ ასე, შემდეგ წინადადებაში დამჭირდება გამოვიყენო სიტყვა *puddle*“.) ზოგჯერ სიტყვის შესახებ ისე ვლაპარაკობთ, თითქოს სიტყვა არის უსასრულო რაოდენობის ერთნაირი ლურსმნები და ყოველ ჯერზე მათგან ერთ რომელიმეს ვიყენებთ. („მე გამოვიყენე ოთხი *puddle* და მათ შორისაა ის ერთი, რომლის გამოყენებაც ამ აბზაცში მომიხდა.“) ეს შედარება შეიძლება სულელური მოგვეჩვენოს, თუმცა ის გარკვეულ აზრს გვიქმნის იმის შესახებ, თუ რა არის ეს უცნაური რაღაც – სიტყვა.

ზოგჯერ ამბობენ, რომ სიტყვა არ არის ნამდვილი სიტყვა, თუ ის არ არის ლექსიკონში (რომელიმე ტიპის ლექსიკონში). გეგონება, ლექსიკონი არის ჯადოსნური გადამწყვეტი რამ გარე სამყაროში ენის „ნამდვილობის“ დასადგენად.

2 ასე რომ იყოს, ალბათ გვეგონებოდა, რომ სიტყვა ბუნებრივი თვისებაა იმ საგნისა, რომელსაც ის ასახელებს. მაგალითად, ერთ-ერთმა ჩემმა ქალიშვილმა, მაშინ 7-8 წლისა იქნებოდა, მკითხა: „როცა დინოზავრები ცხოვრობდნენ, მაშინ რომ არ ყოფილიყვნენ ადამიანები, დღეს ჩვენ როგორ გვეცოდინებოდა ამ ცხოველის სახელი?“ – თითქოს სტეგოზავრის სახელი ისეთივე ბუნებრივი თვისება იყოს ამ ცხოველისთვის, როგორც არის მისი ზომა ან ის, თუ რით იკვებება. ვერაფრით გაიგო და ვერც დაიჯერა, როცა ვუთხარი, რომ ყველაფერს სახელებს ადამიანები არქმევენ.

LANGUAGE

მაგრამ ლექსიკონი ციდან არ ვარდება, ადამიანები ქმნიან ლექსიკონებს. ლექსიკონის შემდგენლები აკვირდებიან, როგორ გამოიყენებენ მეტყველებისა თუ წერის დროს სიტყვებს. მომდევნო თავში გაეცნობით, როგორ რთულ ამოცანას ართმევენ თავს ლექსიკონის შემდგენლები, როცა უნდა დაადგინონ, რამდენი მნიშვნელობა აქვს ამა თუ იმ სიტყვას და მერე უნდა ჩამოაყალიბონ, განსაზღვრონ ეს მნიშვნელობანი. აიღეთ და შეადარეთ როგორ არის სხვადასხვა ლექსიკონში განსაზღვრული ერთი და იგივე სიტყვა (ვთქვათ: „ეჭვი“, „ორმაგი“ ან „ქვემოთ“).

„ენაში შემოდის“ ახალი სიტყვა მაშინ, როცა ვიღაც ერთი ქმნის სიტყვას და ვიღაც მეორე მას იყენებს. მერე რომელიმე რედაქტორი შენიშნავს, რომ ამ სიტყვას ადამიანები გამოიყენებენ, მით უმეტეს, თუ ნაბეჭდ ტექსტში გამოჩნდა ეს სიტყვა რამდენჯერმე. მერე ეს სიტყვა მიიღებს თავის „ოფიციალურ მნიშვნელობას“³ – სალექსიკონო მნიშვნელობას – რომელიღაც ლექსიკოგრაფი ჩამოაყალიბებს ამ მნიშვნელობას იმ წესების მიხედვით, რომლებიც რედაქტორის მიერ არის დადგენილი. ამგვარად, ლექსიკონების ავტორიტეტი „ობიექტურობას“ ერთგვარად მოკლებულია და დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად ვენდობით რედაქტორების გადაწყვეტილებებს.

ლექსიკონი არ არის ის ადგილი, სადაც არსებობს სიტყვა. არის უამრავი ენა, რომელთაც არა აქვთ დამწერლობა. დამწერლობის არმქონე ენებს ძირითადად არც ლექსიკონები აქვთ, თუმცა მათი სიტყვები ისევე არსებობენ, როგორც ინგლისური ენის სიტყვები.

ასეთი უჩვეულო თვისებები მხოლოდ სიტყვებს როდი ახასიათებთ. სხვაგანაც ვიპოვით მსგავს სიმპტომებს, სიტყვების ანალოგიურს, რომლებიც დროში არსებობენ. მაგალითად, სიმღერა „Row, Row, Row Your Boat“ („მოუსვი, მოუსვი ნიჩაბი შენს ნავს“) არსებობს და მანამდეც არსებობდა, ვიდრე მას შექმნიდნენ. მაგრამ არსად ჩანს მისი არსებობის ადგილი. სად არის ეს სიმღერა მაშინ, როცა

3 2009 წლის ივნისში პრესაში დიდი არეულობა მოჰყვა „ინგლისურისთვის მემილიონე სიტყვის დამატებას“, რაც გამოაცხადა ორგანიზაციამ Global Language Monitor-მა. სიტყვა სათვალავში ჩაითვლებოდა, თუ იგი ინტერნეტში 25000-ჯერ დადასტურდებოდა. სხვადასხვა ბლოგერი გააღიზიანა მემილიონე სიტყვისადმი ასეთმა პროზაულმა დამოკიდებულებამ. და საერთოდ, როგორ უნდა დავითვალთ სიტყვები ინგლისურში? ერთი სირთულე, რასაც მომდევნო თავში ვნახავთ, არის ის, რომ ზოგჯერ ვერ გავგვირკვევია, გვაქვს ორი (ან, თუნდაც, ექვსი) სხვადასხვა სიტყვა თუ ორი (ან ექვსი) მნიშვნელობა ერთი და იმავე სიტყვისა.

არავინ მღერის მას? „მუსიკის სივრცეში“ ხომ არ არის და როცა ვინმეს სიმღერა მოუნდება, იქიდან ხომ არ გამოაქვს? ანდა, ხომ არ არის სადმე უსასრულო რაოდენობა ამ სიმღერის ეგზემპლარებისა და ყოველი სიმღერის ჯერზე ხომ არ იღებენ ერთ ეგზემპლარს იქიდან? არც ერთი ეს ვარაუდი გონივრული არ ჩანს.

რალაციით ასეთივეა დღეები და თვეები, როგორებიცაა სამშაბათი, ვალენტინობა ან სექტემბერი. ზოგჯერ ვამბობთ: „ისევ მოვიდა სამშაბათი“, თითქოს ეს იგივე დღეა, რომელიც იყო ადრე, წავიდა და ახლა ისევ დაბრუნდა. ან ზოგჯერ შეიძლება ვთქვათ: „ოჰ, კიდევ ერთი სამშაბათი“, თითქოს სადღაც (მომავალში?) არსებობს უსასრულო რაოდენობა „სამშაბათებისა“ და სწორედ ახლა რომელიღაც ერთი, ძველისგან განსხვავებული, არის ჩვენთან დღის დამთავრებამდე. ამჯერადაც, არც ერთი მოსაზრება, სამშაბათთან დაკავშირებული, მართებული არ ჩანს.⁴

მივუბრუნდეთ ისევ სიტყვებს და ვნახოთ, კოგნიტიური თვალსაზრისით რა შეიძლება ითქვას მათ შესახებ. ამ კუთხით, სიტყვები ადამიანის თავში არსებული სისტემის ის ნაწილია, რომელსაც იყენებენ შეტყობინების ასაგებად. მაშინაც კი, როდესაც თქვენ არ წარმოთქვამთ სიტყვას *puddle*, ან არც ყური მოგიკრავთ, რომ ეს სიტყვა ვინმემ წარმოთქვა, სიტყვა *puddle* მაინც არსებობს თქვენს მეხსიერებაში. ადამიანებმა რომ ერთმანეთს გაუგონ, მათ თავებში უნდა ჰქონდეთ საერთო სიტყვების მნიშვნელოვანი მარაგი. ყოველი ადამიანის საკუთარი სიტყვების მარაგს ვუნოდოთ ამ პიროვნების „მენტალური ლექსიკონი“. თუ თქვენ შეტყობინებაში გამოიყენებთ ჩემთვის უცნობ რომელიმე სიტყვას, მე

⁴ ჯორჯ ლაკოფი და სხვა კოგნიტივისტი ლინგვისტები ვარაუდობენ, რომ ჩვენი კონცეპტუალიზაცია დროისა არის მეტაფორული და მოდელირებულია სივრცის გააზრების მიხედვით. ამ თვალსაზრისს ძირითადად ასაბუთებს ის, რომ ბევრ ენაში დროის წინდებულები იგივე წინდებულებია, რომლებიც გამოიყენება ადგილმდებარეობის აღსანიშნავად სივრცეში, მაგალითად, ინგლისურში: **at 10:00** („10 საათზე“), **on Tuesday** („სამშაბათს“), **before breakfast** („საუზმემდე“), **after the concert** („კონცერტის შემდეგ“), **in five minutes** („ხუთ წუთში“) და ა.შ. (მეორე მხრივ, ინგლისურში არის ასევე: **during**, **until** და **since**, რომლებიც მხოლოდ დროის აღნიშვნისას გამოიყენება და არა სივრცეში ადგილმდებარეობის აღნიშვნის დროს; არის ასევე: **to the left of**, **behind** და **beneath**, რომლებიც მხოლოდ სივრცეში ადგილმდებარეობის აღნიშვნის დროს გამოიყენება და არა დროის აღნიშვნისას.) როგორც ვხედავთ, ის ერთეულები, რომლებიც დროშია განფენილი (როგორებიცაა, მაგალითად, სიტყვა, სიმღერა ან სამშაბათი), ვერ მოექცევა სივრცეში განთავსებული ერთეულების, (როგორებიცაა, მაგალითად, სახრახნისი და ლურსმანი) ყალიბში. მიუხედავად იმისა, რომ გარკვეული პარალელები არსებობს, ერთეულები, რომლებიც გარკვეულ დროს იკავებენ, არ შეიძლება მთლიანად მოდელირებულნი იყვნენ იმის მიხედვით, თუ როგორ მოვიაზრებთ სივრცეში განფენილ ერთეულებს, ან მეტაფორულად გამოიყვანებოდნენ სივრცული მოდელებისაგან.

LANGUAGE

დავიბნევი და ვეცდები გამოვიცნო, რას გულისხმობდა თქვენი შეტყობინება. გასაგებია, ბავშვის მიერ ენის ათვისების პროცესი ამგვარი სიტუაციებით არის სავსე (ჩვენც ამავე სიტუაციაში ვართ, როდესაც ბავშვები გველაპარაკებიან).

კოგნიტიური თვალსაზრისით, მაგალითად, ცნება „სიტყვა *tomato*“ ძალიან ჰგავს ცნებას „ინგლისური ენა“. ეს არის აბსტრაქცია, ან იდეალიზაცია, იმ რაღაცისა, რაც შენახულია მოცემულ ენაზე მოლაპარაკეთა თავებში, რაც მათი მენტალური ლექსიკონების ნაწილს წარმოადგენს და რასაც ისინი კომუნიკაციის პროცესში იყენებენ. ის, რაც შენახულია ერთ მოლაპარაკესთან, შეიძლება ზუსტად არ ემთხვეოდეს იმას, რაც შენახულია მეორესთან – შეიძლება თქვენ წარმოთქვამთ *tomayto*, მაგრამ მე ვამბობ *tomahto* – თუმცა მთავარია, რომ ეს სიტყვა („პომიდორი“) მოცემული მნიშვნელობით არის შენახული. სიტყვა „რჩება ენაში“ დროთა განმავლობაში მანამ, სანამ მოცემულ ენას ახალ-ახალი მოლაპარაკეები სწავლობენ და იყენებენ კიდევ. შეიძლება რომელიმე სიტყვა „მოძველდეს“, როცა მას უკვე აღარ გამოიყენებენ და ის ადამიანები, რომლებიც მას იყენებდნენ, აღარ იქნებიან (თუმცა შეიძლება მოცემული სიტყვა ლექსიკონებში დარჩეს).

აქ წარმოდგენილი თვალსაზრისი მინდა შევადარო თვალსაზრისს, რომელიც უკავშირდება ფიზიკას. ამ უკანასკნელის მიხედვით, სიტყვა არის მხოლოდ ბგერადობა. ეს თვალსაზრისი ვერ გვიხსნიათებს სიტყვას თუნდაც იმიტომ, რომ არაფერს გვეუბნება, იმის შესახებ, თუ როგორ გამოიყენება სიტყვა აზრის გადმოსაცემად. მაგრამ პრობლემა თავს იჩენს ბგერების დონეზეც კი. როდესაც თქვენც ამბობთ *tomato*-ს და მეც ვამბობ *tomato*-ს (თუნდაც ორივე წარმოვთქვამდეთ *tomayto*-ს და არა – *tomahto*-ს), ჩვენი ხმები აკუსტიკურად განსხვავებულია, ჩვენ განსხვავებულ ბგერით ტალღებს წარმოვქმნით. განსხვავებული ბგერითი ტალღები წარმოიქმნება მაშინაც, როცა მე ჩურჩულით წარმოვთქვამ *tomato*-ს და როცა გავყვირი *tomato*-ს. მაშინაც კი, როცა ვამბობ: *you say tomato* („თქვენ ამბობთ *tomato*“), მეტყველებაში არ არის გამოცალკევებული *you* და *say*, ან *say* და *tomato*, თუმცა ჩვენ მათ აღვიქვამთ როგორც ცალკეულ სიტყვებს.

ალვინ ლიბერმანი, თანამედროვე აკუსტიკური ფონეტიკის ერთ-ერთი ფუძემდებელი, ბოლოდროინდელ შრომებში ხშირად იხსენებდა, თუ 1940-იანი წლების ბოლოს როგორ მუშაობდა პრობლემაზე, რომ კომპიუტერს გაეგო მეტყველება. ლიბერმანი და მისი კოლეგები ფიქრობდნენ, რომ საკმარისია აკუსტიკური სიგნა-

ლი დაყო სამეტყველო ბგერებად, ვთქვათ, „p“, „ah“ და „t“ ბგერებად, შემდეგ შეაერთო ეს ბგერები და მიიღებ სიტყვას *pot* („ქოთანი“), როგორც მას წარმოთქვამენ ამერიკულ ინგლისურში. აღმოჩნდა, რომ ასე სულაც არ იყო და ლიბერმანმა მთელი თავისი კარიერა მიუძღვნა იმას, რომ გაერკვია, თუ რატომ არ იყო ასე. ლიბერმანმა და მისმა კოლეგებმა დაადგინეს, რომ სამეტყველო ბგერის აკუსტიკური კორელატი დამოკიდებულია არა მხოლოდ მოლაპარაკის ხმაზე, არამედ მეზობელ სამეტყველო ბგერებზეც. მაგალითად, ბგერა „ah“ აკუსტიკურად განსხვავებულია *pot*, *top*, *mob* და ა.შ. მიმდევრობებში, მიუხედავად იმისა, რომ გვესმის ერთნაირად. გარდა ამისა, მოლაპარაკე ხშირად „ყლაპავს“ ხოლმე ბევრ აკუსტიკურ დეტალს და არაცნობიერად იმედოვნებს, რომ მსმენელი მაინც ამოიცნობს მისი შეტყობინების მნიშვნელობას. როგორც უკიდურესი მაგალითი, შეიძლება დავასახელოთ შემდეგი: როდესაც ვინმე ლაპარაკობს ამოვსებული პირით, მიუხედავად დამახინჯებული აკუსტიკისა, თქვენ მაინც შეძლებთ გაიგოთ მისი ნათქვამი. მეორე მხრივ, თუ მხოლოდ აკუსტიკიდან ამოხვალთ, მაგალითად, თუ ეცდებით დანეროთ კარნახი თქვენთვის უცნობ ენაზე, თითქმის შუძლებელია განსაზღვროთ, რა ბგერები გესმით; არანაკლებ ძნელია, დაადგინოთ საზღვრები სიტყვებს შორის.

როგორც ჩანს, როდესაც ვისმენთ მეტყველებას, სიტყვების იდენტიფიცირებას ნაწილობრივ მაშინ ვახერხებთ, როდესაც ვპოულობთ საუკეთესო შესაბამისობას ბგერებსა და იმ სიტყვებს შორის, რომლებიც უკვე ვიცით, და ნაწილობრივ – მაშინ, როცა ვხვდებით, თუ რაზეა ლაპარაკი; ეს ყველაფერი კი არაცნობიერად ხდება. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მეტყველების გაგება უმეტესად ეფუძნება იდენტიფიცირებას მნიშვნელობის მიხედვით და არა მხოლოდ – აკუსტიკურ იდენტიფიცირებას. მართალია, კომპიუტერით აკუსტიკის პრობლემას ადვილად ვართმევთ თავს, თუმცა მნიშვნელობის პრობლემა მაინც ძნელად მოსაგვარებელია. ამიტომაც არის, რომ ამოცანა, კომპიუტერმა გაიგოს სამეტყველო ენა, ჯერ კიდევ გადაუწყვეტელია, მიუხედავად აქამდე წარმოებული 60-წლიანი კვლევისა.

აკუსტიკური პრობლემა რთულდება, როცა მეტყველებაში შერეულია აქცენტი. თუ თქვენ ლაპარაკობთ „სტანდარტულ“ ამერიკულ ინგლისურს, მაშინ სიტყვაში *park* თქვენ წარმოთქვამთ *r* ბგერას. თუ ბოსტონიდან ბრძანდებით, შეიძლება წარმოთქვათ „pahk“; მაგრამ თუ თქვენ ნიუიორკელი ბრძანდებით, შეიძლება თქვათ „pawk“. ყველა ეს წარმოთქმა, მიუხედავად განსხვავებებისა, ერთ სიტყვად ითვლება იმის გამო, რომ განსხვავება სისტემებში, რომლებსაც

LANGUAGE

თითოეული ეს წარმოთქმა განეკუთვნება, მუდმივია, ყოველთვის ერთი და იგივეა („heart“ vs. „haht“ vs. „hawt“; „guard“ vs. „gahd“ vs. „gawd“ და ა.შ.). და ეს ყველაფერი არ არის. ერთი და იგივე ბგერადობა სხვადასხვა სისტემაში შეიძლება სხვადასხვა სიტყვებად ჩაითვალოს. მიდვესტერნელის (შუადასავლეთელის) მეტყველებაში „gahd“ არის სიტყვა *god*; ბოსტონელის წარმოთქმაში ეს არის სიტყვა *guard*; ტეხასელთან ეს არის სიტყვა *guide*. რამდენადაც წარმოთქმას ყოველთვის ახლავს აქცენტი, ინტერპრეტირებას ვახდენთ ჩვენი საკუთარი აქცენტის მიხედვით. ამგვარად, ოდენობების ერთ და იმავე სიტყვად მიჩნევა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა სისტემას (ან სისტემის რომელ ვარიანტს) განეკუთვნება თითოეული – ამ შემთხვევაში, თუ როგორი აქცენტი ახასიათებს წარმოთქმას. სიტყვის იდენტიფიცირება ნაწილობრივ შესაძლებელი ხდება მისი ადგილით სისტემაში – სხვა რომელ სიტყვებს უპირისპირებდა, რომელ სიტყვებს ჰგავს ბგერითი შემადგენლობით და ა.შ. ამავე დროს, სისტემა არის სისტემა მხოლოდ მისი შემადგენელი ნაწილების წყალობით და ერთ-ერთი ასეთი შემადგენელია სიტყვა. ნრეზე ხომ არ მივდივართ?

მაგრამ ეს არ არის საბედისწერო ნრე. თუ დავუკვირდებით, მსგავსი ვითარება გვაქვს სამშაბათთან დაკავშირებით. რატომ არის ერთი რომელიღაც დღე **სამშაბათი**? იმიტომ, რომ ის მოსდევს ორშაბათს, წინ უსწრებს ოთხშაბათს და ისევე დგება გასული სამშაბათიდან შვიდი დღის შემდეგ. ადამიანებს რომ არ დაერქვათ სახელები დღეებისათვის, არც სამშაბათი იქნებოდა (ასეა, არა?). მაგრამ რამდენადაც ჩვენ ვოპერირებთ ერთი და იმავე სისტემის შიგნით, ერთმანეთისა მშვენივრად გვესმის.

შეიძლება ითქვას, რომ სამშაბათი არის ერთგვარი „შეთანხმება“. ამ შეთანხმების ერთი ნაწილი არის ის, თუ როდის იწყება სამშაბათი. ჩვენთვის ნორმალურია, რომ სამშაბათი იწყება შუალამიდან (რაც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ჩვენს შეთანხმებაზე, რაც უკავშირდება საათს (დროის ერთეულს) და დროის სარტყლებს). მაგრამ დროის ტრადიციული ებრაული გაგებით ახალი დღე იწყება მზის ჩასვლიდან (როგორც ეს „დაბადების“ წიგნშია ნათქვამი: „და იქმნა მწუხრი და იქმნა განთიად დღე ერთი“). რელიგიური მიდგომით, რა თქმა უნდა, ესეც მისაღებია.

ზემოთ აღნიშნული მსჯელობა მიზნად ისახავს, გვიჩვენოს, რომ სიტყვის

განხილვა, ფიზიკის თვალსაზრისით, ბევრს არაფერს გვეუბნება თავად სიტყვის შესახებ. რა განაპირობებს ორი ბგერადობის იდენტიფიცირებას ერთ სიტყვად უპირველესად, საჭიროა აბსტრაქცირება მოლაპარაკის ხმის ინდივიდუალური მახასიათებლებისგან, ხმის ტონალობისა და ზოგჯერ – აქცენტისაგანაც; აქცენტისაგან აბსტრაქცირებისათვის კი საჭიროა ცნება იმ ბგერითი სისტემისა, რომლისთვისაც მოცემული აქცენტია დამახასიათებელი. არც ერთი ამ საკითხთაგანი აკუსტიკის ტერმინებში ვერ თავსდება. მათი განხილვა შესაძლებელია მხოლოდ იმ სისტემების ტერმინებში, რომლებიც მოცემულ ენაზე მოლაპარაკეთა „თავებში“ მოიაზრება კოგნიტიური თვალსაზრისით.

6

რა ითვლება ერთ და იმავე სიტყვად?

როდესაც ვსწავლობთ სიტყვის მნიშვნელობას, ჩნდება მთელი რიგი შეკითხვებისა. ამგვარი შეკითხვები ხშირად უჩნდებათ ჩემნაირ ლინგვისტებს და ვეცდები გიჩვენოთ, თუ რამდენად რთულია მათზე პასუხის გაცემა.

დავინწყოთ მარტივი შეკითხვით: არის თუ არა ერთი და იგივე ამ ორი წინადადების ბოლოში მოცემული სიტყვები?

*She went down to the river and stood on the **bank**.*

„ის ჩაუყვა მდინარეს და **ნაპირზე** დადგა.“

*She went to town to take some money out of the **bank**.*

„ის წავიდა ქალაქში **ბანკიდან** ფულის გამოსატანად.“

თუ „სიტყვობანას“ ვთამაშობთ, მაშინ დაწერილობა არის მთავარი და შეკითხვასაც აზრი არა აქვს, მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ მნიშვნელობას, მაშინ არსებობს ორი გზა მოცემული სიტუაციის აღწერისა. ერთი გზა არის შემდეგი: ჩავთვალოთ, რომ სიტყვა *bank*-ს აქვს ორი მნიშვნელობა; მეორე გზა კი შეიძლება იყოს ასეთი: ჩავთვალოთ, რომ საქმე გვაქვს ორი განსხვავებული მნიშვნელობის მქონე ორ სიტყვასთან, რომელთა წარმოთქმაც და დაწერილობაც იდენტურია. თუ გავითვალისწინებთ იმ შემთხვევებსაც, რომლებიც შემდგომში უნდა განვიხილოთ, უფრო მიზანშეწონილი ჩანს მეორე თვალსაზრისი. ამდენად, მე ვიტყვი, რომ ეს არის ორი სხვადასხვა სიტყვა, რომლებიც წარმოითქმის როგორც *bank*. არის სპეციალური ტერმინი ამ შემთხვევისათვის: ეს ორი *bank* ერთმანეთის მიმართ განიხილება როგორც „**ომონიმები**“.

ახლა განვიხილოთ სხვა ოთხი წინადადება. ამ წინადადებების ბოლოს ერთი და იგივე სიტყვებია?

*The ice will **melt**.*

„ყინული **დადნება**.“

*Every spring the ice **melts**.*

„ყოველ გაზაფხულზე ყინული **დნება**.“

*The ice is **melting**.*

„ყინული **დნება** (მოცემულ მომენტში).“

*The ice has **melted**.*

„ყინული **გადნა**.“

„სიტყვობანას“ თამაშის დროს, ეს სიტყვები ჩაითვლებოდა განსხვავებულებად (დანერილობის გამო), თუმცა ტრადიციული გრამატიკა და ფსიქოლინგვისტური ექსპერიმენტები გვეუბნება, რომ, გარკვეული აზრით, ეს ოთხივე ერთი და იგივე სიტყვაა სხვადასხვა *გრამატიკული ფორმით* (ინფინიტივი, მესამე პირის მხ. რიცხვის ფორმა ანმყო დროში, ანმყო დროის მიმლეობა, ნამყო დროის მიმლეობა).

ახლა ვნახოთ, რას ვიტყვით სიტყვა *smoke*-თან დაკავშირებით მომდევნო ექვს წინადადებაში:

(1) *The fire gave off a lot of **smoke**.*

„ცეცხლს დიდი **ბოლი** აუვიდა“.

(2) *The fire **smoked** a lot.*

„ცეცხლი ძალიან **ბოლავდა**“.

(3) *Bill **smoked** the cigar.*

„ბილმა სიგარა **გააბოლა**“.

(4) *Bill **smoked** the fish.*

„ბილმა თევზი **შებოლა**“.

(5) *Do you have a **smoke**?*

„**მოსანევი** გაქვთ?“

(6) *Let's **smoke** him out.*

„მოდის, ის **გამოვააშკარავოთ**“.

LANGUAGE

ერთი შეხედვით, თითქოს იგივე ვითარება გვაქვს, რაც ორ *bank* სიტყვასთან დაკავშირებით აღინიშნა. მაგრამ ამჯერად ეს ექვსი შემთხვევა ერთმანეთს მნიშვნელობის მიხედვით უკავშირდება. როდესაც ცეცხლი ბოლავს (№2), მას ასდის ბოლი/კვამლი (№1). როდესაც სიგარას აბოლებთ (№3), გასაბოლებელი საგნის ერთი ბოლო გიდევეთ პირში, შიგნით შეიწოვთ ბოლს/კვამლს და მერე უშვებთ გარეთ. თევზის ან ლორის შებოლვის დროს ბოლი უნდა აუვიდეს არა მათ (№1), არამედ ბოლი უნდა მიუშვათ მათზე, რომ შიგნით შეაღწიოს და ამას ახერხებთ მათი ცეცხლთან ახლოს განთავსებით.

მიმდევრობით რომ გავყვეთ, *smoke* (№5) არის ის, რაც შეიძლება გააბოლოონ, რაღაც სიგარის მსგავსი. ეს ნამდვილად არ არის ის, რასაც ბოლავენ (№4) – რაღაც ორაგულის მსგავსი. დაბოლოს, როდესაც ვინმეს გამოააშკარავენ, ის ვილაც გამოგყავს გარეთ დახურული სივრციდან, როგორცაა სახლი ან მღვიმე, ამ უკანასკნელის ბოლით/კვამლით გავსებით – ანუ მეტაფორულად, მას აიძულებთ გამოაჩინოს საკუთარი თავი. მთელ ამ მსჯელობას რომ გავადევნოთ თვალი, ორი გზით შეიძლება წავიდეთ: შეიძლება ვთქვათ, რომ გვაქვს ექვსი განსხვავებული, თუმცა ერთმანეთთან დაკავშირებული სიტყვა, ან გვაქვს ერთი და იმავე სიტყვის განსხვავებული მნიშვნელობები. მოცემული სიტუაციისათვისაც არის სპეციალური ტერმინი: სიტყვა *smoke* არის „პოლისემიური“, ანუ ეს არის ერთი სიტყვა ერთმანეთთან დაკავშირებული ექვსი განსხვავებული მნიშვნელობით. (ზოგიერთმა შეიძლება ჩათვალოს, რომ აქ არის ორი სიტყვა – ერთი ზმნა და ერთი არსებითი სახელი – და თითოეული მათგანი პოლისემიურია.)

ცოტა მეტად წინ რომ წავიდეთ, ვნახოთ სიტყვა *smoker*, რომელიც მიღებულია *smoke*-ისგან *-er* სუფიქსის დამატებით. ამ სიტყვით შეიძლება აღინიშნოს ვილაც, ვინც ჩვეულებრივ ეწევა (№3); ან აღინიშნოს მონყობილობა, რომლითაც შეიძლება რაიმე შებოლონ (№4). ეს ორი მნიშვნელობა შორეულ ბიძაშვილებად შეიძლება ჩაითვალოს, რომლებიც ერთმანეთს მხოლოდ იმით უკავშირდებიან, რომ რაღაც საერთო აქვთ *smoke*-თან (№1). *smoker* ადრე სხვა მნიშვნელობითაც გამოიყენებოდა, რომელიც დღეს საკმაოდ მოძველებულია – იგი აღნიშნავდა მატარებლის ვაგონს, რომელშიც მგზავრებს შეეძლოთ მონევა (№3). რა შეიძლება მთლიანობაში დავინახოთ *smoke* და *smoker*-თან დაკავშირებით? – თითქოს გვაქვს ერთგვარი ქსელი (ბადე) ცხრა ურთიერთდაკავშირებული სიტყვისა, რომელთაგან ზოგი ზუსტად ერთნაირად წარმოითქმის, ზოგის წარმოთქმა კი ჰგავს ერთმანეთს.

რა თქმა უნდა, ეს ქსელი შეგვიძლია გავაფართოვოთ გარკვეული სიტყვების დამატებით, მაგალითად, როგორებიცაა *smoky* („გაბოლილი, ბოლით სავსე“) და *smoked* (ნამყო დროის მიმღეობა, მაგ., მნიშვნელობით „შებოლილი“, „გაბოლილი“ და სხვ.).

არც ერთი განხილულ საკითხთაგანი არ ეხმიანება იმას, თუ, ჩვეულებრივ, ადამიანები რას მიიჩნევენ სიტყვად. გასაგებია, ვერ ვიტყვით, რომ ადამიანებმა არ იციან, რა არის სიტყვა. ალბათ უფრო ვიტყვით, რომ არსებობს სხვადასხვა მიდგომა სიტყვის პრობლემის მიმართ და ეს სხვადასხვაობა დამოკიდებულია მიზანზე. მაგალითად, თუ გვინდა წერილობით დოკუმენტში სიტყვების დათვლა, მაშინ მუშაობს ჩვეულებრივი წარმოდგენა სიტყვის შესახებ, მაგრამ თუ ჩვენი მიზანია განვიხილოთ მიმართება ენას, აზროვნებასა და მნიშვნელობას შორის, მაშინ უნდა ვიცოდეთ და გავითვალისწინოთ სიტყვებთან დაკავშირებული ის თავისებურებანი, რომელთა შესახებაც ზემოთ ვიმსჯელებთ:

- ომონიმები – ორი სიტყვა, რომლებიც ერთნაირი ბგერითი შედგენილობისაა და მნიშვნელობის მიხედვით არაფრით უკავშირდებიან ერთმანეთს (*bank, bank*);
- ერთი და იმავე სიტყვის განსხვავებული ფორმები (*melt, melting*);
- პოლისემიური სიტყვები, რომლებსაც აქვთ ორი ან მეტი ურთიერთდაკავშირებული მნიშვნელობა (*smoke №1, smoke №2* და ა.შ.);
- სიტყვები, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია როგორც ბგერითი შედგენილობით, ისე მნიშვნელობით.

აღნიშნულ თავისებურებებს უკავშირდება განსხვავებები ლექსიკონებს შორის. ომონიმები უმეტესად შეტანილია განსხვავებულ ლექსიკურ ერთეულებად. ერთი სიტყვის განსხვავებული ფორმები ხშირად არც არის მითითებული, გარდა იმ შემთვევებისა, როცა ე.წ. არანესიერ ფორმებთან (როგორიც არის *think* – „ფიქრი“ და *thought* – ნამყო დროის ფორმა) გვაქვს საქმე. პოლისემიური სიტყვები ხშირად ქვეპუნქტებად არის შეტანილი ერთ სალექსიკონო სტატიაში; ბგერითი შედგენილობითა და მნიშვნელობით მსგავსი სიტყვები ასევე შეიძლება შეტანილი იყოს ქვეპუნქტებად, ან ერთი შეიძლება განისაზღვროს მეორეთი, მაგალითად: „Smoker: a person who smokes“ („მწვეელი: პიროვნება, რომელიც ეწევა“).

LANGUAGE

კოგნიტიურ თვალსაზრისს მივუბრუნდები და განვიხილოთ **მენტალური** ლექსიკონი. ჩემი აზრით, ლექსიკონის შემდგენლები, სავარაუდოდ, სიტყვების კლასიფიცირებას ახდენენ იმის მიხედვით, თუ თვითონ როგორ გრძნობენ იმ კავშირებს სიტყვებსა და მნიშვნელობებს შორის, რომლებიც შენახულია ადამიანთა „თავებში“. ლინგვისტები და ფსიქოლინგვისტები მცდელობას არ აკლებენ, რომ გაარკვიონ, თუ რა ტიპის მიმართებები არსებობს სიტყვებს შორის. ჩვენ მხოლოდ ზედაპირულად შევეხეთ ამ საკითხს. მაგალითად, საკმაოდ ვრცელი ლიტერატურა არსებობს სიტყვა *over*-ის მნიშვნელობების შესახებ. ფრაზებში: *somewhere over the rainbow* („სადღაც ცისარტყელას მიღმა“) და *he turned the pancake over* („მან გადააბრუნა ბლინი“), ერთი და იგივე სიტყვა (*over*) არის გამოყენებული? იქნებ ომონიმებია? რა შეიძლება ითქვას *over*-ის შესახებ *overeat*-ში („უზომოდ ჭამა“) და ფრაზაში *overthrow the government* („მთავრობის გადაყენება“)?

ზოგჯერ ადამიანებს აქვთ ამგვარი წინასწარი მიდგომა: თუ ორი სიტყვა ერთნაირად იწერება, ორივე უნდა იყოს ერთი და იგივე სიტყვა. *bank*-ისა და *smoke*-ის შემთხვევაში ადვილად ვაჩვენებთ, რომ ეს ასე არ არის. სიტყვებს შორის არსებულ მიმართებებთან დაკავშირებული სირთულეების შესახებ აღვნიშნავ იმის გამო, რომ მინდა ეს ერთგვარი საყრდენი გახდეს იმ შემთხვევებში, როცა იგივე სიმპტომები იჩენს თავს უფრო ფილოსოფიური წონის სიტყვებში, როგორებიცაა, მაგალითად, *meaning* „მნიშვნელობა“, *consciousness* „ცნობიერება“ ან *true* „ჭეშმარიტი“. თუ ასე რთულია *smoke*, რატომ უნდა მოველოდეთ, რომ *meaning* იქნება მარტივი?

7

mean-ისა („ნიშნავს“) და meaning-ის („მნიშვნელობა“) გამოყენების შემთხვევები

დროა დავფიქრდეთ იმაზე, თუ რა არის მნიშვნელობა. მაგრამ, მოიცათ! ჩვენ ვფიქრობთ **ნამდვილ მნიშვნელობაზე** (რალაც უფრო ღრმა აზრით) თუ მხოლოდ სიტყვის მნიშვნელობაზე? მოდით, ორივეზე დავფიქრდეთ.

თუ გვინდა გავიგოთ, რა არის მნიშვნელობა, რას უნდა დავუკვირდეთ, რა უნდა მოვიძიოთ? მე-20 საუკუნის I ნახევრის ცნობილი ფილოსოფოსი ლუდვიგ ვიტგენშტაინი თავის ფილოსოფიურ გამოკვლევებში აღნიშნავდა: „ნუ უყურებთ მნიშვნელობას, უყურეთ გამოყენებას“. ბევრი ამ ნათქვამს ისე იგებს, რომ მხოლოდ ენის გამოყენებას უნდა დავაკვირდეთ და ამაზე გავჩერდეთ, რადგანაც არ არსებობს ისეთი რამ, რაც წარმოადგენს ენობრივი გამონათქვამის მნიშვნელობას მოცემული გამონათქვამის კონკრეტულ კონტექსტში გამოყენების გარეშე. ჩემთვის ფილოსოფოსის გამონათქვამი სხვა რამეს ამბობს. ჩემი აზრით, ის გვეუბნება, რომ არ უნდა დავგიგოს მახე ჩვენმა ცრუ წარმოდგენამ იმის შესახებ, თუ რა უნდა იყოს სიტყვის მნიშვნელობა (ტრადიციულ, საკმაოდ გავრცელებულ მაგალითებზე დაყრდნობით). ჩვენ უნდა მოვაგროვოთ მასალა, მოვძებნოთ კონკრეტული სიტყვის ყველა გამოყენება იმისათვის, რომ სრული მოდელი შევქმნათ. „ვერ გამოიცნობთ, თუ როგორ ფუნქციონირებს სიტყვა. უნდა დაუკვირდეთ მოცემული სიტყვის გამოყენებას და ამის მიხედვით შეიძლება მიხვდეთ“. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, უნდა იყოთ ლინგვისტი.

(გარკვეულწილად მართებულია ვიტგენშტაინის სტანდარტული ინტერპრეტაცია. მას სჯეროდა, მისი თანამედროვე ბევრი ფილოსოფოსის მსგავსად, რომ მეცნიერული შესწავლა ენისა არ შეიძლება ეყრდნობოდეს გონებას, რომელიც მოუხელთებელია დასაკვირვებლად. ამდენად, მისთვის წარმოუდგენელი იყო კოგნიტიური მიდგომა ენის მიმართ.)

ვიტგენშტაინის გამოკვლევები სავსეა კრეატიული და სახალისო მაგალითებით. თუმცა ავტორი არაფერს ამბობს იმ ანალიტიკური მეთოდების შესახებ, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს გავსცდეთ ენობრივ მონაცემებს.

LANGUAGE

„ახსნები საჭირო არ არის. მხოლოდ აღწერით უნდა შემოვიფარგლოთ“. პირადად ჩემთვის გაუგებარია, როგორ შეიძლება გაიგო რამე, თუ არ ეცდები მის ახსნას. გასული ნახევარი საუკუნის განმავლობაში ენათმეცნიერებასა და კოგნიტიურ მეცნიერებაში მიაგნეს გარკვეულ საშუალებებს, რომლებიც ჩვენი პრობლემის გადაწყვეტაში დაგვეხმარება. ამგვარად, ჯერ ლინგვისტიკას გავყვეთ და განვიხილოთ, თუ როგორ გამოიყენება *mean* და *meaning*. მაშ, მოემზადეთ, კარგად მოეწყვეთ!

დავინყოთ ძირითადი გრამატიკული ჩარჩოთი: *X means Y* („X ნიშნავს Y-ს“). მოცემულ ჩარჩოში *means* რალაციით ჰგავს *smoke*-ს – აქვს რამდენიმე (ერთმანეთთან დაკავშირებული) მნიშვნელობა. მნიშვნელობათა ერთ ჯგუფში წინადადების დამატება (Y) გამოიყენება ამავე წინადადების ქვემდებარის (X) ახსნისა თუ ინტერპრეტაციის მიზნით (სიტუაციურად: მოლაპარაკე ვარაუდობს, რომ მსმენელისთვის X ნაკლებად ნაცნობია).

***X means Y* გამოიყენება ინტერპრეტაციის მიზნით**

Rauch (გერმანული სიტყვა) *means smoke*. (თარგმანი)

„*Rauch* ნიშნავს მონევას.“

Slithy means lithe and slim. (განმარტება)

„*Slithy* ნიშნავს მხნესა და გამხდარს.“

Osculating means doing this. (დემონსტრირება)

„ოსკულირება ნიშნავს ამის კეთებას.“

A red light means you should stop, (სიმბოლოს განმარტება)

„წითელი შუქი ნიშნავს, რომ უნდა შეჩერდე.“

რამდენადაც ივარაუდება, რომ წინადადების ქვემდებარე, ამავე წინადადების დამატებასთან შედარებით, ნაკლებად ნაცნობია, არ შეგვიძლია რიგი შევაბრუნოთ, ანუ ნაკლებად ნაცნობით დავინყოთ წინადადება (ენათმეცნიერებაში „*“-ით აღინიშნება წინადადება, რომელიც არასწორია; ქვემოთ მე ასევე ვიყენებ აღნიშვნებს: „?“ და „??“ იმის აღსანიშნავად, რომ წინადადება მთლად დაუშვებელი არაა, თუმცა არც გამართულია ენობრივად.).

**Smoke means Rauch⁵.*

„მოწევა ნიშნავს Rauch-ს.“

**Lith and slimy means slithy.*

„მხნე და გამხდარი ნიშნავს slithy-ს.“

**Doing this means osculating.*

„ამას რომ აკეთებ, ეს ნიშნავს ოსკულირებას.“

**That you should stop means a red light.*

„შენ რომ უნდა შეჩერდე, ეს ნიშნავს წითელ შუქს.“

როდესაც ვლაპარაკობთ სიტყვის, ფრაზის ან წინადადების მნიშვნელობაზე, ჩვეულებრივ ვგულისხმობთ განმარტებასა და თარგმანს. ინგლისური ლექსიკონი ინგლისური სიტყვის მნიშვნელობას იძლევა განმარტების სახით. გერმანულ-ინგლისური ლექსიკონი გერმანული სიტყვის მნიშვნელობას იძლევა თარგმანის სახით.

X means Y ჩარჩოს სხვა გამოყენება გამოხატავს გარკვეული ტიპის კავშირს *means* ზმნის ქვემდებარესა და დამატებას შორის.

***X means Y* გამოიყენება კავშირის გამოსახატავად**

Smoke means fire.

„კვამლი ნიშნავს ცეცხლს.“

A sharp pain in your left side may mean appendicitis.

„მწვავე ტკივილი მარცხენა მხარეს შეიძლება ნიშნავდეს აპენდიციტს.“

This means war!

„ეს ნიშნავს ომს!“

კვამლი არის შედეგი ცეცხლისა და ამიტომაც, სადაც არის კვამლი, იქ შეიძლება იყოს ცეცხლი. ასევე, ტკივილი არის შედეგი აპენდიქსის შეტევისა,

⁵ ეს წინადადება შეიძლება წარმოვთქვათ მაშინ, როცა ინგლისურად ვლაპარაკებით გერმანულენოვან პიროვნებას, რომელმაც არ იცის კონკრეტული ინგლისური სიტყვა. ამ შემთხვევაში, ისევე როგორც სხვა შემთხვევებშიც, წინადადების ქვემდებარე არ არის ნაცნობი და ნაცნობია ამავე წინადადების დამატება.

LANGUAGE

ამდენად, როდესაც გტკივათ, შეიძლება განუხებდეთ აპენდიციტი. მაგრამ ბოლო მაგალითში კავშირი შებრუნებულია. **ეს**, რაც გინდა იყოს, არ არის ომის შედეგი, იგი სულაც შეიძლება გახდეს მიზეზი ან მოტივაცია ომისა.⁶

ყველა ამ შემთხვევაში გამოყენებული **mean** ერთი და იგივე სიტყვაა? იქნებ, როგორც *smoke*-ის შემთხვევაში იყო, აქაც გვაქვს ურთიერთდაკავშირებული მნიშვნელობები, ან იქნებ, სულაც ომონიმებია, როგორც *bank*-ის შემთხვევაში იყო? გასაგები რომ გახდეს, საით მივდივართ, განვიხილოთ სამი შემთხვევა, როცა *mean* აშკარად ომონიმური მნიშვნელობით გამოიყენება:

What does he mean to do next? [= „განზრახვა“]

„რის გაკეთებას ფიქრობს (აპირებს) ის შემდგომ?“

That's one mean and ugly dog. [= „საძაგელი“]

„ეს ერთი საძაგელი და საშინელი ძაღლია.“

The mean temperature in Lower Slobbovia is minus 6. [= „საშუალო“]

„საშუალო ტემპერატურა ქვემო სლობოვიაში არის მინუს 6.“

6 მიზეზისა და შედეგის შებრუნებული გამოხატვა არ არის განსაკუთრებული თვისება სიტყვისა *mean*. ასევე გვაქვს სიტყვებთან *reason* („მიზეზი“) და *why* („რატომ“). მაგალითად, ქვემოთ მოხმობილ ორ წინადადებაში, სიტუაცია პირველ ნაწილში არის შედეგი სიტუაციისა მეორე ნაწილში:

The reason that leaves are green is that (or because) they have chlorophyll.

„ფოთლები რომ მწვანეა, ამის მიზეზი არის ის (ეს არის იმიტომ), რომ მათ აქვთ ქლოროფილი.“

Why are leaves green? Because they have chlorophyll.

„რატომ არის ფოთლები მწვანე? იმიტომ, რომ მათ აქვთ ქლოროფილი.“

მაგრამ მომდევნო ორ წინადადებაში, სიტუაცია მეორე ნაწილში არის შედეგი სიტუაციისა პირველი ნაწილიდან:

Why do leaves have chlorophyll? So they can metabolize carbon dioxide.

„რად აქვთ ფოთლებს ქლოროფილი? რათა მათ შეძლონ ნახშირორჟანგის გარდაქმნა.“

ზოგჯერ განსხვავება გამოიხატება გრამატიკული ფორმით: წინადადების ერთი ნაწილი ზმნის პირიანი ფორმით გამოხატავს მიზეზს, ხოლო ინფინიტივის (*to be able*) ან მოდალური ზმნის (*can*) შემცველი მეორე ნაწილი გამოხატავს შედეგს. თუ პირველ და მესამე წინადადებაში ზმნის პირიანი ფორმას ჩავანაცვლებთ ინფინიტივით, და პირიქით, მივიღებთ ცოტა უცნაურ წინადადებებს:

?? *The reason that leaves are green is to have chlorophyll.*

(ამ შემთხვევაში თარგმანი დაახლოებით შემდეგი იქნება: „ფოთლები რომ მწვანეა, ამის მიზეზი არის ის, რომ მათ ჰქონდეთ ქლოროფილი.“)

?? *The reason that leaves have chlorophyll is that they are able to metabolize carbon dioxide.*

(ამ შემთხვევაში თარგმანი დაახლოებით შემდეგი იქნება: „ფოთლებს იმისთვის აქვთ ქლოროფილი, რომ მათ შეუძლიათ ნახშირორჟანგის გარდაქმნა.“)

მოცემულ სამ წინადადებასთან შედარებით, ყველა შემთხვევა ინტერპრეტაციის მიზნით გამოყენებისა და, ასევე, ყველა შემთხვევა დაკავშირების მიზნით გამოყენებისა ერთმანეთთან ძალიან ახლოსაა, თუმცა ერთი და იგივე არ არის.

ეს რომ დავინახოთ, განვიხილოთ კიდევ ორი სხვა გრამატიკული ჩარჩო: ზოგჯერ ახალი გრამატიკული ჩარჩოები იმავს გამხატავენ, რაც ადრე განხილული ჩარჩოებით გამოიხატებოდა, მაგრამ ზოგჯერ ახალი ჩარჩოები ცოტა უცნაური ჩანს:

ჩარჩო A: *The meaning of X is Y*

The maning of Rauch is smoke.

[= *Rauch* means *smoke*] (თარგმანი)

„*Rauch*-ის მნიშვნელობა არის მოწევა

[=*Rauch* ნიშნავს მოწევას]“

The meaning of slithy is lithe and slimy

[= *Slithy* means *lithe* and *slimy*] (განსაზღვრა)

„*Slithy*-ის მნიშვნელობა არის მხნე და გამხდარი

[=*Slithy* ნიშნავს მხნესა და გამხდარს]“

?*The meaning of osculate is doing this.* (დემონსტრირება)⁷

„ოსკულირების მნიშვნელობა არის ამის გაკეთება“

?*The meaning of a red light is that you should stop.* (სიმბოლოს ახსნა)

„წითელი შუქის მნიშვნელობა არის ის,

რომ უნდა გაჩერდე.“

**The meaning of smoke is fire.* (დაკავშირება)

„კვამლის მნიშვნელობა არის ცეცხლი.“

7 ზოგი ამ წინადადებასა და მის უშუალოდ მომდევნოს სასაცილოდ მიიჩნევს, მაგრამ არა – მათ მომდევნოს.

LANGUAGE

ჩარჩო B: *X has the same meaning as Y*

(გერმანული სიტყვა) **Rauch** has the same meaning as (ინგლისური სიტყვა) **smoke**.

(თარგმანი)

„*Rauch*-ს (გერმანული სიტყვა) იგივე მნიშვნელობა აქვს, რაც *smoke*-ს (ინგლისური სიტყვა).“

Slithy has the same meaning as **lithe** and **slimy**.

(განსაზღვრა)

„*Slithy*-ის იგივე მნიშვნელობა აქვს, რაც *lithe*-სა და *slimy*-ს“

***Osculate** has the same meaning as doing this.

(დემონსტრირება)

„*Osculate*-ს იგივე მნიშვნელობა აქვს, რაც ამის გაკეთებას.“

***A red light** has the same meaning as that you should stop. (სიმბოლოს ახსნა)

„წითელ შუქს იგივე მნიშვნელობა აქვს, რომ უნდა გაჩერდე.“

***Smoke** has the same meaning as **fire**.

(დაკავშირება)

„*Smoke*-ს იგივე მნიშვნელობა აქვს, რაც ცეცხლს.“

განხილული ჩარჩოები მოცემულ ხუთ შემთხვევას სამ ჯგუფად ყოფს: თარგმანისა და განსაზღვრის შემთხვევებში წინადადებები გამართულია როგორც A, ისე B ჩარჩოს მიხედვით; დემონსტრირებისა და სიმბოლოს ახსნის შემთხვევებში წინადადებებს თითქოს არა უშავს A ჩარჩოს მიხედვით, თუმცა უვარგისია B ჩარჩოს მიხედვით; დაბოლოს, დაკავშირების შემთხვევაში წინადადება უვარგისია, ორივე ჩარჩოს მიხედვით.

მაგრამ ჯერ განხილვა არ დამთავრებულა. საინტერესოა კიდევ ერთი შემთხვევა *mean*-ის გამოყენებისა ჩარჩოში: *X means Y for Z*. აქ *Y* აღწერს, თუ გარკვეული სიტუაცია *X* როგორ ზემოქმედებს *Z*-ზე.

ზეგავლენის გამხატვა: *X means Y for Z*

What the stock market decline means for us is that we can't retire soon.

„რასაც ნიშნავს ჩვენთვის ფასების დაცემა ბირჟაზე, არის ის, რომ ვერ შევძლებთ მალე პენსიაზე გასვლას.“

What do the latest insights of brain imaging mean for music theory?

„რას ნიშნავს მუსიკის თეორიისთვის ენცეფალოგრაფიით მიღებული ბოლოდროინდელი შედეგები?“

კიდევ ერთ შემთხვევას შეიძლება ვუწოდოთ „ემოციური ზეგავლენა“. აქ ლაპარაკია იმაზე, თუ რაღაც რამდენად მნიშვნელოვანია (ნიშნავს ბევრს, ცოტას თუ სულაც არაფერს; ამ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ ზედსართავი *meaningful* („მნიშვნელოვანი“).

ემოციური ზეგავლენის გამოხატვა: *X means a lot/a little to Z;*

X is meaningful to Z

Your thank-you note meant a great deal to my wife.

„თქვენი მადლობის წერილი ძალიან დიდ რამეს ნიშნავდა ჩემი ცოლისათვის.“

The situation in Rwanda means very little to most Americans.

„სიტუაცია რუანდაში ძალიან ცოტას ნიშნავს ამერიკელთა უმეტესობისათვის.“

Graduating from Tufts was very meaningful to Karen.

„ტაფტის დამთავრება ძალიან მნიშვნელოვანი იყო კარენისათვის.“

თუ ვეცდებით, რომ ინტერპრეტაციისა და დაკავშირების გამომხატველ შემთხვევებს მოვარგოთ ემოციური ზეგავლენის გამომხატველი ჩარჩო, მივიღებთ უაზრო წინადადებებს (იხ. ქვემოთ). ამით დავინახავთ, თუ რამდენად განსხვავებულია ემოციური ზეგავლენის გამომხატველი შემთხვევები დანარჩენებისაგან:

**Rauch means smoke very much to Sam.*

LANGUAGE

**A red light means that you should stop a great deal to Igor.*

**Smoke is very meaningful to fire.⁸*

მაქსიმალურად ამომწურავი რომ ვიყო, განვიხილოთ, თუ რას გამოხატავს *mean* გამინათქვამებში: *what it means to be human* და *what it means to be an American Jew*⁹. ჩემი აზრით, აქ გამოიხატება კომბინაცია დაკავშირებისა (მოლაპარაკეს აინტერესებს, რა შეიძლება მოჰყვეს ადამიანად ყოფნას) და ემოციური ზეგავლენისა (ადამიანად ყოფნა რა ზეგავლენას მოახდენს მოლაპარაკის არსებობაზე). იგივე კომბინაცია გამოიხატება კიდევ ერთი გრამატიკული ჩარჩოთი: *To be human means to suffer* („ადამიანად ყოფნა ნიშნავს განცდებში ყოფნას“).

მაგრამ სად მოვარგოთ გამოსახულება *the meaning of life* (სიტყვა-სიტყვითი თარგმანი: „ცხოვრების მნიშვნელობა“)? საუკეთესო პარაფრაზად მიმაჩნია *‘the purpose of life’* („ცხოვრების მიზანი“), შეიძლება, ასევე: *‘the deep value of life’* (სიტყვა-სიტყვითი თარგმანი: „სიღრმისეული ღირებულება ცხოვრებისა“). ეს უკანასკნელი თითქოს ჰგავს ემოციური ზეგავლენის გამოხატვას, როგორც ეს არის გამოსახულებაში *Your thank-you note meant a great deal to my wife*.

ვხვდებით კიდევ ერთ გამოყენებას *meaning*-ისა ბოთლებში ჩამოსხმული წყლის ეტიკეტზე: *Poland Spring: What it means to be from Maine?* (მიახლოებითი თარგმანი შემდეგია: „პოლონური წყარო: რას ნიშნავს, რომ ის არის Maine-დან“). მე აქედან აზრი ვერ გამომაქვს. შეიძლება თქვენ ის აზრი გამოიტანოთ, რომ პოლონური წყარო ატარებს ყველა იმ არსებით კარგ თვისებას, რომლებიც Maine-თან ასოცირდება, მაგრამ დარწმუნებული არა ვარ, თუ შეიძლება ამ აზრის ამგვარად გამოხატვა.

შესაძლოა ამგვარმა ანალიზმა თქვენი აღშფოთებაც გამოიწვიოს, მეტიანეებთან ჩახლართული მოგეჩვენოთ. „ნამდვილად უნდა იყოს უფრო მარტივი ახსნა, ეს ხომ მხოლოდ ერთი სიტყვაა“. სწორედ ამ აზრს ავითარებდა

8 მოცემული უაზრო წინადადებების თარგმანი, შესაბამისად, დაახლოებით შემდეგია: „*Rauch* ძალიან ნიშნავს *smoke*-ს („მოწევა“) სემისთვის“; „წითელი შუქი ძალიან დიდ რამეს ნიშნავს იგორისთვის, რომ უნდა შეჩერდე“; „კვამლი ძალიან მნიშვნელოვანია ცეცხლისთვის“.

9 მოცემული გამონათქვამების თარგმანი, შესაბამისად, შემდეგია: „რას ნიშნავს, იყო ადამიანი“; „რას ნიშნავს, იყო ამერიკელი ებრაელი“.

ვიტგენშტაინი¹⁰. თუკი დასამშვიდებლად რამე შეიძლება ითქვას, მინდა დაგარწმუნოთ, რომ *mean* არაფრით არის გამორჩეული. პრაქტიკულად, ნებისმიერ სიტყვასთან დაკავშირებითაც იმავე სიძნელეებს წავაწყდებით. ზოგი რამ უკვე ითქვა *smoke*-თან დაკავშირებით (წინა თავებში აღინიშნა *language*-თან და *word*-თან დაკავშირებით). ჩვენი შემდგომი მსჯელობა კიდევ ბევრ ამგვარ სიძნელეს წარმოაჩენს.

10 ლოგიკოსებმა ჯონ ბარვაიზმა და ჯონ პერიმ დააფუძნეს მთელი თეორია (სიტუაციური სემანტიკა) იმ ჰიპოთეზაზე, რომ *mean*-ის ამხსნელობითი გამოყენება („Slithy ნიშნავს მხნესა და გამხდარს“) შეიძლება აიხსნას კავშირის გამოხატვის ტერმინებში („კვამლი ნიშნავს ცეცხლს“). აქ წარმოდგენილი ანალიზიდან ცხადი უნდა იყოს, რომ ეს ჰგავს იმას, რომ ვცადოთ ავხსნათ, როგორ მოვწიოთ სიგარა იმ წესებზე დაყრდნობით, რომელთა მიხედვითაც ვბოლავთ ქაშაყს.

„ობიექტური“ და „სუბიექტური“ მნიშვნელობა

mean-ის განხილვა ჯერ არ დამთავრებულა. ყველა იმ შემთხვევის გარდა, რაც წინა თავში იყო წარმოდგენილი, *mean* გამოიყენება ასევე სიტუაციის მიმართ პიროვნების სუბიექტური დამოკიდებულების გამოსახატავად. ამ პიროვნებას ჩვენ ვუნოდებთ „ინტერპრეტატორს“.

სიტყვის, ფრაზის ან წინადადების სუბიექტური ინტერპრეტაცია

In Bill's opinion, “*All trespassers will be shot*” means anyone but him [. . . will be shot].

„ბილის აზრით, „ყველა სამართალდამრღვევი დაიხვრიტება“ ნიშნავს, რომ ყველა, მის გარდა, [. . . დაიხვრიტება].“

In the investigations, *language game* means any use of language in a context.

„გამოკვლევებში ენობრივი თამაში ნიშნავს ენის ნებისმიერ გამოყენებას კონტექსტში.“

Language means something different to linguists than it does to computer scientists or philosophers.

„ენა ნიშნავს რაღაც უფრო განსხვავებულს ლინგვისტებისათვის, ვიდრე კომპიუტერული მეცნიერების სპეციალისტებისათვის ან ფილოსოფოსებისათვის.“

“*No*” may mean “*yes*” to you, but it means “*no*” to me!

„არა“ შეიძლება ნიშნავს „დიახს“ თქვენთვის, მაგრამ ის ნიშნავს „არას“ ჩემთვის!“

When I say “*no*” I MEAN “*no*”!

„როცა მე ვამბობ „არას“, მე ვმშლისხმოვ „არას!“

By reference, David Lewis means reference in all possible worlds.

„რეფერენცია დევიდ ლუისისთვის ნიშნავს რეფერენციას ყველა შესაძლო სამყაროში.“

By “*look to the use*,” Wittgenstein means that we shouldn’t be trapped by our preconceptions.

„შევხედოთ გამოყენებას“, ამაში ფიტგენშტაინი გულისხმობდა, რომ არ უნდა შეგვაცდინოს ჩვენმა მიკერძოებულმა აზრმა.“

წინა თავში განხილული იმ შემთხვევის მსგავსად, როცა *mean* გამოიყენებოდა ინტერპრეტაციის მიზნით (როგორც ეს არის წინადადებაში “*Rauch means smoke*”), ამ შემთხვევაშიც *mean* გამოყენებულია სიტყვის ან ფრაზის ინტერპრეტაციის მიზნით. მაგრამ, წინა თავისაგან განსხვავებით, ეს ინტერპრეტაცია გვიჩვენებს, თუ როგორ ესმის ინტერპრეტატორს მოცემული ფრაზა. ადამიანი, რომელიც წარმოთქვამს კონკრეტულ წინადადებას, შეიძლება არც ეთანხმებოდეს იმას, რომ წარმოდგენილი ინტერპრეტაცია სწორია და შეიძლება ფიქრობდეს, რომ ყველას ერთნაირად არ ესმის მოცემული ფრაზა. ამ შემთხვევაში შეიძლება ვილაპარაკოთ *mean*-ის „სუბიექტურ“ გამოყენებაზე – გამოიხატება ინტერპრეტატორის თვალსაზრისი.

აღნიშნულის საპირისპიროდ, წინა თავში *mean*-ის გამოყენება (ინტერპრეტაციის მიზნით) მოცემული ფრაზის ინტერპრეტაციის წარმოგვიდგენს როგორც ფაქტს. ფაქტია, რომ *Rauch* ნიშნავს „მონევას“ და ვინც ასე არ ფიქრობს, ის, რა თქმა უნდა, ცდება. აქ უკვე შეიძლება ვილაპარაკოთ „ობიექტურ“ ინტერპრეტაციაზე.

მეორე ახალი გამოყენება *mean*-ისა ისევ გარკვეულ თვალსაზრისს გამოიხატავს; ამჯერად გამოიხატება, თუ როგორ ესმით კავშირი ორ სიტუაციას შორის.

სუბიექტური კავშირი ორ სიტუაციას შორის

In some people’s mind, the president’s behavior means that he’s losing his grip.

„ზოგიერთი ადამიანის აზრით, პრეზიდენტის ქცევა ნიშნავს იმას, რომ ის თავის გავლენის სფეროებს კარგავს.“

To me the look on Bill’s face means that we’d better get out of here fast.

„ჩემთვის, ბილის სახის გამომეტყველება ნიშნავს, რომ ჯობია ჩვენ აქაურობას მალე გავეცალოთ.“

და კვლავ, ეს შემთხვევა განსხვავდება კავშირის გამოხატვის იმ შემთხ-

LANGUAGE

ვევისაგან, რომელიც წინა თავში განვიხილეთ. დამატებით აქ ის იგულისხმება, რომ კავშირი ამ შემთხვევაში არის ვილაცის ინტერპრეტაცია ორ სიტუაციას შორის მიმართების თაობაზე. აქაც, პირველ შემთხვევაში, გამოხატული კავშირი უბრალოდ არის ფაქტი, მსგავსი იმისა, რომ კვამლი მართლაც ნიშნავს ცეცხლს. ასე რომ, წინა შემთხვევაში გამოიხატებოდა „ობიექტური“ კავშირი.

„ობიექტურს“ ბრჭყალებში ვსვამთ იმიტომ, რომ მოლაპარაკე მხოლოდ საკუთარ დამოკიდებულებას გამოხატავს სიტუაციის მიმართ. შეიძლება ჩვენ, მსმენელები, არ დავეთანხმოთ მას. წინადადება ამ ინტერპრეტაციას წარმოგვიდგენს როგორც ფაქტს, მაგრამ იმის თქმა, რომ ეს ფაქტია, არ ადასტურებს, რომ მართლა ფაქტთან გვაქვს საქმე.

აღნიშნული დუალობა, განხილული შემთხვევების დაყოფა გამოხატვის „ობიექტურობისა“ და „სუბიექტურობის“ მიხედვით, ფაქტობრივად, სავსებით ჩვეულებრივია ინგლისური სიტყვების მიმართაც. (ახლა, ალბათ, უკვე ხვდებით, რომ სწორედ ამის თქმას ვაპირებდი.) ვიფიქროთ ქვემოთ წარმოდგენილი მაგალითების შესახებ; იმ მაგალითების შესახებ, რომლებიც მთელ რიგ განსხვავებულ გრამატიკულ ჩარჩოებს მოიცავენ:

Tom adores Olive.

„ტომს (ძალიან) უყვარს ოლივი.“

Tom enjoys playing checkers.

„ტომს უყვარს შაშის თამაში.“

(also *detests, hates, loathes, and many others*)

(„აგრეთვე ეჯავრება, სძულს, ეზიზღება და ბევრი სხვა“)

Syntax is fascinating to Noam.

„სინტაქსი (ძალიან) აინტერესებს ნოამს.“

Noam is fascinated with syntax.

„ნოამი (ძალიან) დაინტერესებულია სინტაქსით.“

(also *terrifying/terrifies/terrified of, surprising/surprises/surprised at,*

disgusting/disgusts/disgusted with, exciting/excites/excited about, and many others)

(„აგრეთვე შინდება/აშინებს/შეაშინა, გაცეპულია/აოცებს/გაოცდა, ეზიზღება (მოცემულ მომენტში)/ეზიზღება (საზოგადოდ)/შეეზიზღდა, აღაფრთოვანებს/აღაფრთოვანებულია/აღაფრთოვანდა და ბევრი სხვა“)

მოცემულ მაგალითებში გადმოცემულია პიროვნების (ამ შემთხვევაში – ტომისა და ნომის) დამოკიდებულება კონკრეტული საგნისა თუ აქტივობის მიმართ. აუცილებელი არაა, რომ იმ პიროვნებას, რომელიც მოცემულ წინადადებებს წარმოთქვამს, იგივე დამოკიდებულება ჰქონდეს და შეიძლება ისიც ივარაუდებოდეს, რომ სხვებს სხვაგვარი დამოკიდებულება ექნებათ.

თუმცა იგივე (ან მნიშვნელობით მსგავსი) სიტყვები შეიძლება გამოვიყენოთ მარტივი შეფასების გადმოსაცემად:

Olive is adorable.

„ოლივი (ძალიან) საყვარელია.“

Playing checkers is enjoyable.

„შაშის თამაში სასიამოვნოა.“

Syntax is fascinating.

„სინტაქსი საინტერესოა (მიმზიდველი).“

(also *detestable, hateful, loathsome, terryfing, surprising, disgusting, exciting, and many more*)

(„ასევე საძაგელი, საძულველი, საზიზღარი, საშიში, საოცარი, საშინელი, აღაფრთოვანებელი და ბევრი სხვა)

მოცემულ მაგალითებში მოლაპარაკე გადმოსცემს „ფაქტს“ ოლივთან, შაშის თამაშთან თუ სინტაქსთან დაკავშირებით. „ფაქტთან“ ბრჭყალები ისევე გამოვიყენე იმის გამო, რომ ამ წინადადების მსმენელი შეიძლება მოლაპარაკეს არ ეთანხმებოდეს და ფიქრობდეს, რომ ეს უკნასკნელი ცდება ოლივის, შაშის თამაშისა და სინტაქსის თაობაზე. ამგვარად, ეს წინადადები ჰგავს *mean-*ის „ობიექტურ“ გამოყენებას. განსხვავება „სუბიექტურ“ და „ობიექტურ“ მნიშვნელობებს შორის თავისთავად საინტერესოა.

რა შეიძლება ახასიათებდეს მნიშვნელობას?

აქამდე განვიხილავდით სიტყვებს *mean* და *meaning*. ახლა დროა დავსვათ შეკითხვა: რა არის ნამდვილი მნიშვნელობა (თუკი ასეთი რამ საერთოდ არსებობს)? მომდევნო რამდენიმე თავში ვეცდები ვაჩვენო, რომ ეს ის არ არის, რაც უკავშირდება გაუმჯობესებული ლექსიკონების შექმნას გაუმჯობესებული განსაზღვრებებით.

დავინყოთ ვიტგენშტაინის თავსატეხი შეკითხვით: რას ნიშნავს სიტყვა *this*? – არა იმ სიტუაციაში, როცა რაღაცაზე მივუთითებთ, არამედ თვითონ სიტყვა, თავისთავად. *mean*-ის გამოყენების ვერც ერთი შემთხვევა (განხილულია VII თავში) ამჯერად ვერ დაგვეხმარება. *This*-ს ვერ განვსაზღვრავთ შედარებით უფრო ნაცნობი სიტყვების მეშვეობით, როგორც ეს შემდეგ მაგალითში გვექონდა: *Slithy means lithe and slim* („*Slithy* ნიშნავს მხნესა და გამხდარს“). არც მისი დემონსტრირება შეგვიძლია, როგორც ამას გამოხატავდა შემდეგი წინადადება: *Osculating means doing this* („ოსკულირება ნიშნავს ამის კეთებას“). ასე რომ, დასმულ შეკითხვას ვერ ვპასუხობთ. ნამდვილად არ შეგვიძლია იმის თქმა, რომ სიტყვა *this* მნიშვნელობას მოკლებულია, რომ ეს ისეთივე უაზრო მარცვალია, როგორც არის, მაგალითად, *bliff* ან *thit*. ეს არ არის უაზრო მარცვალი, რა თქმა უნდა, მას აქვს მნიშვნელობა!

მაგრამ რა აზრით არის *this* მნიშვნელობის მქონე? ჩვენ ვამბობთ, რომ სამუშაოს თუ სასიყვარულო კავშირს შეიძლება ჰქონდეს ან არ ჰქონდეს მნიშვნელობა – ამით ჩვენ გარკვეულ ემოციურ ზეგავლენას გამოვხატავთ. მაგრამ *this*-ს რომ მნიშვნელობა აქვს, ეს არ უკავშირდება ემოციური ზეგავლენის გამოხატვას. მაშ, რას გამოხატავს *this*?

ანალოგიურ თავსატეხს გვიჩენს ქვემოთ მოცემული რამდენიმე მაგალითი:

“*The bear was chased by the lion*” means the same thing as “*The lion chased the bear.*”

„დათვი დადევნებული იქნა ლომის მიერ“ ნიშნავს იმავეს, რასაც „ლომი დაედევნა დათვს.“

“*It appears that the war is lost*” means the same thing as “*The war appears to be lost.*”

„როგორც ჩანს, ომი წაგებულია“ იმავეს ნიშნავს, რასაც „ომი წაგებული ჩანს.“¹¹

ეს მაგალითიც აუცილებლად უნდა დავამატო:

“X and Y mean the same thing “ means the same thing as “X means the same thing as Y.”

„X და Y ერთსა და იმავეს ნიშნავს“ ნიშნავს იმავეს, რასაც „X ნიშნავს იმავეს, რასაც Y.“

აქ ლაპარაკია არა სიტყვების, არამედ წინადადებების მნიშვნელობების შესახებ. რა არის ის, რასაც წინადადებათა ეს წყვილი ნიშნავს, ერთი და იგივე რა არის მათში?

რა თქმა უნდა, ერთი და იგივე სიტყვები აქ არაა მთავარი. მაგალითად, მომდევნო ორი წინადადება ერთსა და იმავე სიტყვებს შეცავს, მაგრამ ერთსა და იმავეს არ ნიშნავს:

The lion chased the bear.

„ლომი დაედევნა დათვის.“

The bear chased the lion.

„დათვი დაედევნა ლომს.“

მომდევნო ორ წინადადებაშიც ერთი და იგივე სიტყვებია, თუმცა მეორე არაფერს ნიშნავს (ყოველ შემთხვევაში, ინგლისურში):

It appears that the war is lost.

„როგორც ჩანს, ომი წაგებულია.“

*The it appears war lost is that.

„ის ჩანს ომი წაგებული არის რომ.“

როგორც ვხედავთ, იმას, თუ რას ნიშნავს წინადადება, ერთგვრად განსაზღვრავს სიტყვათა განლაგება წინადადებაში.

ჩემი აზრით, ჩვენ ვგრძნობთ, რომ სიტყვებისა თუ სიტყვათა რიგის მიღმა იმალება რაღაც უფრო ღრმა. ეს, რა თქმა უნდა, არ არის განსაზღვრება სხვა

¹¹ ორივე წინადადების თარგმანი რამდენადმე ხელოვნურია იმის გამო, რომ გვსურდა შეგვენარჩუნებინა ინგლისური წინადადებების სტრუქტურული თავისებურებანი (მთარგმნელის შენიშვნა).

LANGUAGE

სიტყვების მეშვეობით. როცა ვამბობთ, რომ სიტყვა *this* მნიშვნელობის მქონეა, ამით ვამბობთ, რომ მას აქვს მნიშვნელობა, სულ ერთია, რა სახისა. და აი, სწორედ აქ იწყება სირთულე. რა უნდა იყოს ეს დამალული ღრმა რაღაც?

პლატონის აზრით, მნიშვნელობა სიტყვისა, როგორცაა, მაგალითად, სიტყვა *dog*, არის „ძალლობის“ არსი, დროის საზღვრების გარეშე. რაღაც, რასაც უშუალოდ არასდროს შევხებივართ. მაგრამ მას არაფერი უთქვამს წინადადების მნიშვნელობის შესახებ და არც სიტყვა *this*-ის (ან მისი ბერძნული ეკვივალენტის) მნიშვნელობის შესახებ. რა უნდა იყოს „ესობის“ (“thisness”) არსი? სხვა ფილოსოფიური თვალსაზრისებითაც ვცადეთ სიტყვისა და წინადადების მნიშვნელობის განსაზღვრა, სახეობის (*dog*-ის მნიშვნელობა არის ‘ძალის’ ბუნებრივი სახეობა), სიმრავლის (*dog*-ის მნიშვნელობა არის ყველა ძალის სიმრავლე), შესაძლო სამყაროთა სიმრავლის (*dog*-ის მნიშვნელობა არის ყველა ძალის სიმრავლე ყველა შესაძლო სამყაროდან) მეშვეობით. სიტყვისა და წინადადების მნიშვნელობის განსაზღვრა ასევე ვცადეთ ლინგვისტური თეორიების საშუალებითაც, აბსტრაქტული **სიღრმისეული სტრუქტურისა** და **ლოგიკური ფორმის** მიხედვით. მიუხედავად იმისა, რომ მნიშვნელობასთან დაკავშირებული ეს თვალსაზრისები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან, ისინი ერთ რამეზე თანხმდებიან: მნიშვნელობის უშუალო აღქმა არ ხდება – მნიშვნელობა დამალულია ჩვენგან.

ვეცდები ნაბიჯ-ნაბიჯ მივალწიო მნიშვნელობის განსაზღვრას შემდეგი შეკითხვების დასმით: რა შეიძლება ახასიათებდეს სიტყვისა თუ წინადადების მნიშვნელობას, მიუხედავად იმისა, თუ რა არის ეს მნიშვნელობა? რა სპეციფიკური გამოხატულება აქვს მნიშვნელობას? ქვემოთ წარმოვადგინებ ექვს მახასიათებელს, რომლებიც უნდა გვახსოვდეს.

1. მნიშვნელობა უკავშირდება წარმოთქმას

უპირველესი, რაც მნიშვნელობას მოეთხოვება, არის ის, რომ იგი უნდა უკავშირდებოდეს ენის სამეტყველო (ან წერილობით) ფორმას. *This* ფორმას უკავშირდება მნიშვნელობა, ხოლო ფორმა *this*-ს – არა. სიტყვა იმიტომაც არის სიტყვა, რომ ის, ერთი მხრივ, უკავშირდება ისეთ ბგერით მონაკვეთს, რომლის წარმოთქმა შესაძლებელია (ე.ი. უკავშირდება „ფონეტიკურ“ ან „ფონოლოგიურ“ სტრუქტურას) და, მეორე მხრივ, – მნიშვნელობას.

გარკვეულ ენობრივ ოდენობას ვუნოდოთ „ფონოლოგიური“ სიტყვა, თუ მას აქვს წარმოთქმა, მიუხედავად იმისა, უკავშირდება თუ არა მას მნიშვნელობა. თუ ფონოლოგიური სიტყვა უკავშირდება მნიშვნელობას, ვუნოდოთ მას „მნიშვნელობის მქონე სიტყვა“. მე-19 საუკუნის მეორე ნახევარსა და მე-20 საუკუნის ადრეულ წლებში მოღვაწე ენათმეცნიერი ფერდინანდ დე სოსიური ამგვარ ოდენობას უწოდებს „ნიშანს“. მაგალითად, *thit* და *bliff* უბრალოდ ფონოლოგიური სიტყვებია – მათი წარმოთქმა შესაძლებელია, თუმცა მნიშვნელობა მათ არ უკავშირდება. *This* არის მნიშვნელობის მქონე სიტყვა (ანუ ნიშანი); თუმცა *thqs* არის მხოლოდ ასოების მიმდევრობა, რომელიც არც ერთი ფონოლოგიური სიტყვის ჩანანერს არ წარმოადგენს.

„კრატილოსში“, პლატონის ერთ-ერთ უცნაურ დიალოგში, სოკრატე აღმოაჩენს, რომ თითქმის ყველა სიტყვას, რომელზეც ის დაფიქრებულა, აქვს წარმოთქმა, რომელიც ზუსტი შესატყვისია მნიშვნელობისა. როცა შეხვდება სიტყვა, რომლის წარმოთქმა არ შეესაბამება მნიშვნელობას (კრიტიკიუმი ამის შესაფასებლად შეიძლება ძალიან უცნაურიც იყოს), ის მაინც ამოიცნობს, რომ ეს შესატყვისობა ერთ დროს არსებობდა და დროთა განმავლობაში, ბგერათცვლილებების შედეგად, წარმოთქმა დაშორდა თავის „სრულყოფილ“ ფორმას. ეს დე სოსიურმა ძალიან კარგად იცოდა. ცნობილია მისი დებულება „ნიშნის ნებისმიერობის“ შესახებ: *'dog'* სიტყვის ბგერითი მხარე არაფრით არის დაკავშირებული იმასთან, რასაც წარმოადგენს ძალღი. სწორედ ამიტომაც არის, რომ სიტყვები, რომლებიც თითქმის ერთსა და იმავე საგანს (ფართო მნიშვნელობით) მიემართებიან, მაგალითად, *smoke* და *Rauch*, სხვადასხვა ენაში შეიძლება აბსოლუტურად განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან.

(ჩვეულებრივ, სიტყვის ბგერითი შედგენილობა არ განისაზღვრება იმით, რასაც მოცემული სიტყვა აღნიშნავს. არსებობს მცირე რაოდენობა სიტყვებისა, გარკვეული ხმინანობის აღმნიშვნელი სიტყვები, ე.წ. ონომატოპოეტური სიტყვები, რომლებიც თითქოს ბაძავენ იმ ბგერებს, რომლებსაც აღნიშნავენ. მაგრამ აქ მსგავსება არის მხოლოდ გარკვეული ხარისხით. მაგალითად, ფრანგულში ძალღის ყეფას აღნიშნავენ *gnaf-gnaf*-ით, ხოლო ინგლისურში *bow-wow*-თი. სიტყვები, როგორებიცაა *mama*, *papa* და *dada* გავრცელებულია მსოფლიოს ენებში, მაგრამ არა იმიტომ, რომ ეს სიტყვები ჰგვანან ან 'მამას' ან 'დედას', არამედ იმიტომ, რომ ჩვილი პირველად სწორედ ამ ბგერებს წარმოთქვამს. მამა ან დედა კი ამ დროს თავს იწონებს, თვლის, რომ პატარა მის სახელს ამბობს.)

LANGUAGE

ჟესტების ენის ზოგიერთი ნიშანი მართლაც ჰგავს თავის ალსანიშნს, მაგრამ ეს მსგავსება არ არის სრული, მხოლოდ მსგავსების გარკვეულ ხარისხზე შეიძლება ვილაპარაკოთ. თუ ვინმე გეტყვით, რას ნიშნავს მოცემული ნიშანი ჟესტების ენისა, შეიძლება მიაგნოთ მსგავსებას; მაგრამ თუ ცალკე აღებულ ნიშანს ხედავთ, ძნელია იმის თქმა, თუ რას უნდა ნიშნავდეს იგი.

სად ხდება წარმოთქმისა და მნიშვნელობის დაწყვილება? იმ თვალსაზრისის მიხედვით, რომელიც ვარაუდობს, რომ ენა სადღაც „გარე სამყაროშია“, მნიშვნელობებიც იქ უნდა იყოს. მე-19 საუკუნის ბოლო წლებში მოღვაწე ლოგიკოსი გოტლობ ფრეგე სწორედ ამ თვალსაზრისს იზიარებდა. ამავე თვალსაზრისს იზიარებენ თანამედროვე ანგლო-ამერიკელი ენის ფილოსოფოსები. მე მათ არ ვეთანხმები. კოგნიტიური თვალსაზრისით, თუ მოლაპარაკეს შეუძლია სიტყვებისა და წინადადებების გამოყენება, მას ეს ყველაფერი გონებაში უნდა ჰქონდეს. ამდენად, მნიშვნელობები, ისევე როგორც კავშირი წარმოთქმასა და მნიშვნელობას შორის, უნდა იყოს მოლაპარაკის გონებაშიც (თავში).

მე-6 თავში წარმოდგენილი ანალიზი სიტყვისა *smoke* შეიძლება უფრო ნათელი გავხადოთ, თუ გავიაზრებთ წარმოთქმისა და მნიშვნელობის დაწყვილების იდეას. სიტყვა *smoke*-ს ფრაზაში *smoke a cigar* („სიგარის მოწევა“) და სიტყვა *smoke*-ს ფრაზაში *smoke a ham* („შაშხის შებოღვა“) ერთნაირი წარმოთქმა აქვთ, თუმცა ამ ერთ წარმოთქმაზე მიბმულია ორი განსხვავებული მნიშვნელობა. თითოეულ ამ მნიშვნელობაში ერთ-ერთი შემადგენელი კომპონენტი არის მნიშვნელობა სიტყვისა *smoke* ფრაზაში *cigar smoke* („სიგარის მოწევა“). ამიტომაც არის, რომ ეს სამი სიტყვა უკავშირდება ერთმანეთს.

2. წინადადების მნიშვნელობა აიგება მისი ნაწილების მნიშვნელობებისაგან

ცხადია, რომ წინადადების მნიშვნელობა დაკავშირებული უნდა იყოს მასში შემავალი სიტყვების მნიშვნელობებთან. წინადადება *The lion chased the bear* („ლომი დაედევნა დათვის“) დაკავშირებულია ლომთან, დათვისთან და დადევნებასთან.. მაგრამ წინადადების მნიშვნელობა მეტია მასში შემავალი სიტყვების მნიშვნელობათა ჯამზე. წინადადებაში *The bear chased the lion* („დათვი დაედევნა ლომს“) იგივე სიტყვებია, თუმცა ეს წინადადება იმავეს არ

ნიშნავს და აი, რატომ: დადევნება არის მოქმედება, რომელშიც ორი მონაწილეა ჩართული განსხვავებული როლებით – ერთია ის, ვინც მისდევს, ხოლო მეორეა ის, ვისაც მისდევენ. ეს ორი წინადადება განსხვავებულია ლომისა და დათვის განსხვავებული როლებით. გრამატიკული სტრუქტურა წინადადებისა გვეუბნება, რომელი რომელია. კერძოდ, წინადადების ქვემდებარე ასახელებს მდევარს, ხოლო პირდაპირი დამატება – დადევნებულს.

ახლა ცოტა გავართულოთ მაგალითი: *The fat lion chased the sleepy bear* („მსუქანი ლომი დაედევნა მძინარე დათვის“). ვინ არის მსუქანი და ვინ არის მძინარე? ეს დამოკიდებულია შესაბამისი სიტყვების პოზიციაზე წინადადებაში. *The fat sleepy lion chased the bear, The sleepy lion chased the fat bear* და ა.შ. ამ წინადადებებს შორის განსხვავება კვლავ გრამატიკული სტრუქტურით განისაზღვრება: როცა ზედსართავი სახელი წინ უსწრებს არსებით სახელს (ინგლისურში), თვისება, რომელსაც ასახელებს ზედსართავი, მიეწერება საგანს ან პირს, რომელსაც ასახელებს არსებითი.

წინადადება პასიური კონსტრუქციით, როგორიცაა: *The bear was chased by the lion*, შეიცავს ერთ პატარა გრამატიკულ მარკერს (*was*), რომელსაც მოსდევს ზმნა ნამყოს მიმღობის ფორმით. აღნიშნული გრამატიკული კონსტრუქცია მიგვახვედრებს რომელი მონაწილე რა როლს ასრულებს. აქაც დათვის ისევე მისდევენ და ლომი არის მდევარი. ამგვარად, წინადადება ინარჩუნებს (ან თითქმის ინარჩუნებს) იმ მნიშვნელობას, რომელიც ჰქონდა წინადადებას *The lion chased the bear*.

განხილულ წინადადებათაგან განსხვავებით, სიტყვების უაზრო მიმდევრობას, მაგალითად: *The it appears war lost is that* („ეს ის ჩანს ომი წაგებული არის რომ“), გრამატიკული სტრუქტურა არა აქვს, თუმცა მისი წარმოთქმა შესაძლებელია. მიუხედავად იმისა, რომ ყველა ცალკეულ სიტყვას მნიშვნელობა აქვს, მნიშვნელობები ერთმანეთს ვერ უკავშირდება და, შედეგად, წინადადება (უფრო ზუსტად, სიტყვათა მიმდევრობა) მნიშვნელობის გარეშე რჩება.

მსგავს მაგალითებს მივყავართ „კომპოზიციურობის“ ცნებამდე, რომელიც მიეწერება ფრეგეს.

„ფრეგესეული კომპოზიციურობა“: მნიშვნელობა შედგენილი გამოსახუ-

LANGUAGE

ლებისა (ფრაზისა ან წინადადებისა) არის ფუნქცია მისი შემადგენელი ნაწილების მნიშვნელობებისა და მათი კომბინირების გრამატიკული წესებისა.

ტრადიციულად, ფრეგესეული კომპოზიციურობა გაიგებოდა შემდეგნაირად: წინადადების ან ფრაზის მნიშვნელობა მთლიანად განისაზღვრება მასში შემავალი სიტყვების მნიშვნელობებით, რომლებიც ერთმანეთს უკავშირდებიან იმ წესების მიხედვით, რომლებსაც მოცემული გრამატიკული სტრუქტურა გვკარნახობს. *Fat*-ისა („მსუქანი“) და *lion*-ის („ლომი“) მნიშვნელობები ერთმანეთს უკავშირდება და იქმნება *fat lion*-ის („მსუქანი ლომი“) მნიშვნელობა: ეს არის ის, რაც ერთდროულად არის მსუქანიცა და ლომიც. *Chase*-ისა („დადევნება“) და *bear*-ის („დათვი“) მნიშვნელობებიც უკავშირდებიან ერთმანეთს და იქმნება *chase the bear*-ის („დათვს დადევნება“) მნიშვნელობა – რომ ადგილი აქვს დადევნების ქმედებას და დათვი არის ის, რასაც მისდევენ, და ა.შ. მაგრამ სინამდვილეში ასე მარტივადაც არ არის საქმე.¹²

12 ჯერ ერთი, სიტყვები არ წარმოადგენენ იმ ‘ნაწილებს’, რომელთაგან შედგება ფრაზა ან წინადადება. განვიხილოთ სხვა შემთხვევებიც, მაგალითად:

- იდიომები, როგორებიცაა *kick the bucket* (სიტყვა-სიტყვითი თარგმანია: „ვედროსთვის ფეხის კვრა“, მაგრამ მისი შესატყვისი უფრო არის ქართული იდიომა „ფეხები გაჭიმა“ – „გარდაცვალების“ მნიშვნელობით) და *cut and dried* (სიტყვა-სიტყვითი თარგმანია: „დაჭრილი და გამოშრალი“, მაგრამ იგი იხმარება „წინასწარ განსაზღვრულის, დაშტამპულის“ მნიშვნელობით) შედგება ჩვეულებრივი სიტყვებისაგან, თუმცა იდიომების მნიშვნელობა არ შედგება მათი ნაწილების მნიშვნელობებისაგან. იდიომა უნდა დავისწავლოთ როგორც მთლიანი ერთეული.
- შედგენილი სიტყვები, როგორებიცაა *snowman* („თოვლის კაცი“) და *hot dog* (აღნიშნავს სწრაფი კვების ერთ-ერთ პროდუქტს, კერძოდ, ეს არის „ცხელი სოსისი პურში“), მნიშვნელობის მქონე ერთეულებია. ზოგჯერ კომპოზიტივი შემავალი სიტყვები გარკვეულწილად მონაწილეობენ მნიშვნელობაში, როგორც ეს არის *snowman*-ში, ზოგჯერ კი არა – *hot dog* არ არის ძალის ჯიში და არც *honeymoon*-ს (სიტყვა-სიტყვითი თარგმანია: „თაფლი-მთვარე“, მაგრამ ნიშნავს „თაფლობის თვეს“) აქვს პირდაპირი კავშირი თაფლთან ან მთვარესთან. ზოგიერთ შემდგენილ სიტყვაში, მაგალითად, *cranberry*-ში („შტომი“), ერთ-ერთი ნაწილი (*cran*) მხოლოდ ფონოლოგიური სიტყვაა, არ არის მნიშვნელობის მქონე. თუმცა მაშინაც კი, როცა შემადგენელი სიტყვები მნიშვნელობის მქონეა, შედგენილი სიტყვის მნიშვნელობას მათი მეშვეობით ცალსახად ვერ განვსაზღვრავთ. მაგალითად, *a garbage man* („მენაგვე“) არ არის ნაგვისგან (*garbage* ნიშნავს „ნაგავს“) გაკეთებული კაცი (*man* ნიშნავს „კაცს“) და არც *a snowman* არის კაცი, რომელიც თოვლს (*snow* ნიშნავს „თოვლს“) ყრის (იგულისხმება მსგავსი მოდელის ფარგლებში მნიშვნელობათა სხვაობა: ნაგავს ყრის, მაგრამ თოვლისგან გაკეთებული. – მთარგ. შენ.).
- იდიომა ან შედგენილი სიტყვა, როგორც ერთეული, რომლის მნიშვნელობა კომბინირებს წინადადების დანარჩენ ნაწილთან, უფრო მეტია, ვიდრე ცალკე აღებული სიტყვა. მაგრამ არსებობს მნიშვნელობის მქონე ერთეულები, სიტყვაზე უფრო მცირე, მაგალითად, ხაზგასმული ნაწილები შემდეგ ფრაზებში:

a ketchupless hot dog

„ცხელი სოსისი კეტჩუპის გარეშე“

[= ‘a hot dog without ketchup’]

3. თარგმანი ინარჩუნებს მნიშვნელობას

მესამე, რაც მნიშვნელობას შეიძლება ახასიათებდეს, არის ის, რომ თარგმანში შენარჩუნებული უნდა იყოს სიტყვებისა და წინადადებების მნიშვნელობები – სწორედ ეს არის თარგმანი. ინგლისური *smoke* და გერმანული *Rauch* ორი განსხვავებული ენის ფონოლოგიური სიტყვებია, რომლებიც ერთსა და იმავე მნიშვნელობას უკავშირდებიან. წინადადების იდიშიდან იაპონურზე თარგმნისას იქმნება იაპონური ფონოლოგიური სიტყვების მიმდევრობა, რომელიც უკავშირდება იმავე მნიშვნელობას, რასაც უკავშირდება მიმდევრობა იდიშში. (ეს იმას როდი ნიშნავს, რომ ყოველ სიტყვას იდიშიდან აქვს პირდაპირი თარგმანი იაპონურში. შესაძლებელია, იდიშის ერთი სიტყვის თარგმანი აღმოჩნდეს მთელი ფრაზა იაპონურში.)

ყოველთვის აღმოჩნდება ვილაც, ვინც იტყვის, რომ შეუძლებელია ერთი ენიდან მეორეზე თარგმანი სრულყოფილი იყოს. რა თქმა უნდა, ხშირად ძნელია თარგმანში ყველა მცირე ნიუანსის გადმოცემა, განსაკუთრებით მაშინ, როცა პროზას ან პოეზიას ვთარგმნით. თუმცა უმეტესი პრაქტიკული მიზნებისთვის, თუნდაც ისეთ მნიშვნელოვან სფეროში, როგორიც არის დიპლომატია, ითვლება, რომ მნიშვნელობის გადმოცემა თარგმანში მშვენივრად ხერხდება.

4. მნიშვნელობები ენას გარე სამყაროსთან აკავშირებს: რეფერენციული ფუნქცია

მეოთხე მახასიათებელი მნიშვნელობებისა შეიძლება იყოს ის, რომ მათი მეშვეობით მყარდება კავშირი ენასა და გარე სამყაროს შორის. ვთქვათ, მე რაღაცაზე მივუთითებ და გეკითხებით: “Is this a dagger which I see before me?” („ეს, რასაც

an ex-copilot

„ყოფილი მეორე პილოტი“

[= ‘a former copilot’]

an unzippable jacket

„ქურთუკი, რომელიც ელვით არ იკვრება“

[= ‘a jacket that cannot be zipped’]

სუფიქსებისა და პრეფიქსების პარაფრაზი მოცემულია სიტყვების მეშვეობით და, ამდენად, ეს იმას ნიშნავს, რომ სუფიქსებსა და პრეფიქსებს უკავშირდება საკუთარი დამოუკიდებელი მნიშვნელობები. სუფიქსებისა და პრეფიქსების მნიშვნელობები კომბინირებს იმ სიტყვების მნიშვნელობებთან, რომლებსაც დაერთვიან, თითქმის ზუსტად ისევე, როგორც სიტყვათა მნიშვნელობები კომბინირებენ ფრაზებში.

LANGUAGE

მე ჩემ წინ ვხედავ, ხანჯალია?“) იმისათვის, რომ შეკითხვაზე მიპასუხოთ, თქვენ უნდა მიხვდეთ, მე რა საგანი მაქვს გონებაში და ნახოთ, აკმაყოფილებს ის თუ არა *dagger*-ის („ხანჯალი“) მნიშვნელობას. თუ კიდევ უფრო დავაზუსტებთ, სიტყვა *this* („ეს“) გკარნახობთ, რომ მიაგნოთ იმას, რაზეც მიგითითებთ (აი, უხეშად რომ ვთქვათ, ამას ნიშნავს *this*, ყოველ შემთხვევაში, ამ კონტექსტში). ეს არის მნიშვნელობის რეფერენციული ფუნქცია.

თუ მნიშვნელობები ჩვენს გონებაშია („თავშია“), როგორ შეიძლება მათი დაკავშირება გარე სამყაროსთან? ამ შეკითხვას უფრო ქვემოთ, წიგნის მეორე და მესამე ნაწილებში მივუბრუნდები.

5. მნიშვნელობები ერთმანეთს უკავშირდებიან: ინფერენციული ფუნქცია

მეხუთე, რაც მნიშვნელობას შეიძლება ახასიათებდეს, არის ის, რომ მნიშვნელობები უნდა ქმნიდნენ მექანიზმს დასკვნის გამოსატანად. თუ ვიტყვი, რომ *Amy is hungry and Tom is cooking* („ემი მშიერია და ტომი საჭმელს ამზადებს“), თქვენ შეგიძლიათ დაასკვნათ, რომ ემი მშიერია. ეს დასკვნა გამომდინარეობს სტანდარტული ლოგიკური აქსიომიდან: $P \& Q \rightarrow P$. ახლა მინდა მოგაწოდოთ ნაკლებ ტრივიალური მაგალითი, როცა დასკვნა არ გამომდინარეობს ავტომატურად სტანდარტული ლოგიკური აქსიომიდან. დავუშვათ, გითხარით:

Amy convinced Tom to go to New York for the weekend.

„ემიმ დაარწმუნა ტომი, რომ შაბათ-კვირას წასულიყო ნიუ-იორკში.“

თქვენ შეგიძლიათ დაასკვნათ შემდეგი:

Originally Tom didn't plan to go to New York for the weekend. Now he does.

„თავიდან ტომი არ გეგმავდა ნიუ-იორკში წასვლას შაბათ-კვირას. ახლა უკვე გეგმავს.“

სწორედ ეს არის მნიშვნელობათა ინფერენციული ფუნქცია: ერთი წინადადებიდან გამომდინარეობს მეორე.

დასკვნის გამოტანის პროცესის მექანიკურამდე დაყვანას და მის ექსპლიციტურ წარმოდგენას ცდილობს ხანგრძლივი ფილოსოფიური ტრადიცია,

დანყებული არისტოტელეს სილოგიზმებიდან, შემდგომ ლაიბნიცის, ფრეგესა და რასელის ჩათვლით, თანამედროვე ფორმალურ ლოგიკამდე, რომლის განშტოებებია ხელოვნური ინტელექტის მოდელი და, ასევე, ევრისტიკული მოდელი (ამოცანის გადაწყვეტა საუკეთესო გზის მიგნების ტერმინებში). ამავე ტრადიციამ მიგვიყვანა ალგორითმების თეორიამდე, რამაც ბიძგი მისცა ციფრული კომპიუტერებისა თუ ხელოვნური ინტელექტის მოდელის შექმნას და (ნოამ ჩომსკის ნყალობით) ფორმალური ლინგვისტური თეორიების ჩამოყალიბებას.

კოგნიტიური პერსპექტივა მოითხოვს, რომ უფრო დანვრილებით განვიხილოთ, თუ როგორ მიიღწევა დანასკვი. ჩვენი მიდგომა რამდენადმე განსხვავებულია ლოგიკური თვალსაზრისისაგან, რამდენადაც ჩვენ გვინტერესებს აღნიშნული საკითხის არა მხოლოდ ფორმალურ მხარე, არამედ ის, თუ ჩვენ, ადამიანებს, როგორ გამოგვაქვს დასკვნა – როგორ მიმდინარეობს ეს პროცესი ჩვენს თავებში.

მნიშვნელობა არა აქვს, რა თვალსაზრისს ავირჩევთ, – დანასკვი არაფრით გამომდინარეობს ფონოლოგიური სიტყვებიდან. ზემოთ მოხმობილ მაგალითში *didn't plan*-ის („არ გეგმავდა“) ბგერით შედგენილობას არაფერი აქვს საერთო *convince*-ის („დარწმუნება“) ბგერით შედგენილობასთან. მათ როგორღაც ერთმანეთთან აკავშირებთ მნიშვნელობები.

სიტყვათა მნიშვნელობებს შორის კავშირი ხშირად ფორმულირებულია დანასკვის სახით. მაგალითად, რომ მივუბრუნდეთ *smoke*-ს წინადადებიდან *Bill smoked (№3) the cigar* („ბილმა გააბოლა სიგარა“), შეიძლება დავსკვნათ, რომ *smoke* (№1 – „ბოლი, კვამლი“) გამოდის სიგარიდან. წინადადებიდან *The room was smoky* („ოთახი გაბოლილი იყო“) შეიძლება დავასკვნათ, რომ ოთახში იყო *smoke* (№1 – „ბოლი, კვამლი“). ამ მსჯელობებიდან ვხედავთ, თუ *smoke* (№1) როგორ მონაწილეობს *smoke* (№3)-ისა და *smoky*-ის მნიშვნელობებში.

6. მნიშვნელობები დაფარულია

დავუბრუნდეთ იმ პრობლემას, რომლითაც ეს თავი დავიწყეთ: უმთავრესი თვისება მნიშვნელობისა არის ის, რომ მნიშვნელობები დაფარულია. (რა აზრით

LANGUAGE

ვხმარობ აქ „დაფარულს“, გამოჩნდება შემდგომ; რა თქმა უნდა, მისტიკურს არაფერს ვგულისხმობ.) როდესაც ხდება დაწყვილება მნიშვნელობისა და წარმოთქმისა, ვთქვათ, *this* სიტყვის შემთხვევაში, ჩვენ გვესმის წარმოთქმა (ან ვხედავთ, როცა დაწერილია) და მაშინვე ვიცი, რომ იგი მნიშვნელობის მქონეა. თუმცა ხშირად გვიჭირს მნიშვნელობის ახსნა, მნიშვნელობას ვერც დავინახავთ და ვერც გავიგონებთ, მიუხედავად იმისა, რომ მნიშვნელობა ჩვენს გონებაშია („თავში“).

სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ბგერა-მნიშვნელობა წყვილის მნიშვნელობითი მხარე არაცნობიერია (თუ არ ჩავთვლით იმ შეგრძნებას, რომ წყვილის ბგერითი მხარე მნიშვნელობის მქონეა). მნიშვნელობის პრობლემას ამ კუთხით წიგნის მეორე ნაწილში განვიხილავთ და დასკვნებსაც მოგანვდით, ფრიად გასაოცარს, ცნობიერების თეორიის თვალსაზრისით.

შეიძლება არ დამეთანხმოთ, რადგან ფიქრობთ, რომ მნიშვნელობა არ შეიძლება იყოს დაფარული და არაცნობიერი. ყოველ შემთხვევაში, როცა მესმის სიტყვა *dog*, მე შეიძლება მქონდეს ცნობიერი ვიზუალური გამოსახულება ძაღლისა. განა ის სურათი, რომელიც გონებაში მაქვს, არ არის იგივე, რაც მნიშვნელობა? მოკლე პასუხი არის **არა**. უფრო ვრცელი პასუხი იხილეთ მომდევნო თავში.

ახლა შევაჯამოთ: კოგნიტიური თვალსაზრისით, სიტყვის ან წინადადების მნიშვნელობა არის ის რაღაც, რაც ენის მომხმარებლის (მოლაპარაკის ან მსმენელის) თავშია და რომელიც:

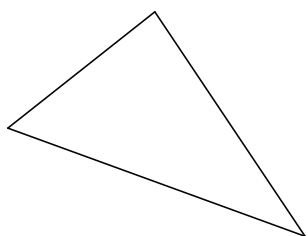
- უკავშირდება წარმოთქმულ თუ დაწერილ ფორმას, ან ასოცირდება მასთან;
- კომბინირებს წინადადების სხვა ნაწილების მნიშვნელობებთან;
- უკავშირდება გამოსახულების თარგმანს სხვა ენაზე;
- შეიძლება დაუკავშირდეს გარე სამყაროს;
- იძლევა დასკვნის გამოტანის შესაძლებლობას;
- ცნობიერებისთვის დაფარულია.

10

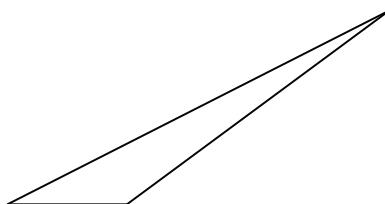
მნიშვნელობა არ შეიძლება იყოს ვიზუალური გამოსახულება

წინა თავში იყო მინიშნება: ხომ არ შეიძლება, რომ სიტყვისა თუ წინადადების მნიშვნელობა იყოს ვიზუალური გამოსახულება და არა სიტყვებით გადმოცემული განსაზღვრება. ამჯერად დავასაბუთებთ, თუ რატომ არ შეიძლება, რომ ასე იყოს.

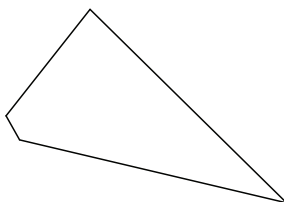
ცნობილია მე-18 საუკუნის ფილოსოფოსის ჯორჯ ბერკლის სამკუთხედის მაგალითი. სამკუთხედის გამოსახულებას გარკვეული ფორმა აქვს. დავუშვათ, რომ თქვენი გამოსახულება სამკუთხედისა ამგვარია:



საქმე ის გახლავთ, რომ ყველა სამკუთხედს ერთნაირი ფორმა არა აქვს. ქვემოთ კიდევ ორი სამკუთხედია მოცემული. თქვენ ალბათ იტყვით: „ჰო, ეს სამკუთხედები ფორმით ძალიან უახლოვდებიან ჩემს სამკუთხედს და შეიძლება სამკუთხედებად ჩაითვალოს.“



ახლა კიდევ ერთი გამოსახულება ვნახოთ. ვფიქრობ, ეს უფრო ჰგავს თქვენს სამკუთხედს:



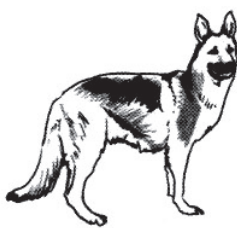
LANGUAGE

მაგრამ ეს არ არის სამკუთხედი. თქვენ შეიძლება თქვათ: „ჰო, ამ ბოლო ფიგურას სამი გვერდი არა აქვს.“ აქ უნდა შევჩერდეთ: ვიზუალურ გამოსახულებებში არაფერი გვეუბნება იმის შესახებ, რომ სამი გვერდის ქონა არის მნიშვნელოვანი სამკუთხედისათვის. როგორც კი ამას ჩამოვაცილებთ როგორც ძირითად მახასიათებელს, უკვე გავდივართ იმ შესაძლებლობიდან, რასაც ვიზუალური გამოსახულება იძლევა. თუკი მნიშვნელობები სურათების სახით გვაქვს, საიდან ვიცით, როგორ შევადაროთ სურათები „იდეალურს“?

ასევე, არც ყველა ძალი ჰგავს ერთმანეთს. მაგალითად, გერმანული ნაგაზი უფრო ნაკლებად ჰგავს პატარა პუდელს, ვიდრე მგელს.



ძალი



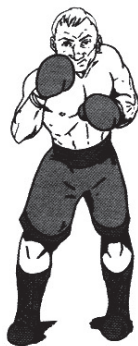
ძალი



მგელი

ამგვარად, როგორ შეიძლება, რომ ძალის ერთი ვიზუალური გამოსახულება იყოს სიტყვის მნიშვნელობა? დასკვნა შემდეგია: ერთი გამოსახულება, წარმოდგენაში იქნება ის თუ რეალურად დახატული, სპეციფიკური და განსაკუთრებულია და ვერ ასახავს იმ განსხვავებებს, რაც, მაგალითად, სამკუთხედებს ან ძალებს შორის არის.

ახლა ამ სურათს შევხედოთ:



აი, რას იტყოდა ვიტგენშტაინი:

წარმოიდგინეთ სურათი, რომელზეც გამოსახულია მოკრივე მისთვის სპეციფიკურ პოზაში. ეს სურათი შეიძლება გამოვიყენოთ იმისათვის, რომ ვინმეს ვაჩვენოთ, როგორი უნდა იყოს მისი დგომა, რა პოზაში უნდა იყოს მისი სხეული, ან რა პოზაში არ უნდა იყოს მისი სხეული, ან რომელიმე კონკრეტული ადამიანი როგორ იდგა რომელიღაც კონკრეტულ ადგილას და ა.შ.

ამჯერადაც ვიზუალური გამოსახულება არაფერს გვეუბნება იმის შესახებ, თუ რა არის მნიშვნელოვანი, მთავარი, რას უნდა მივაქციოთ ყურადღება. რა ვიფიქროთ, რა მნიშვნელობა გადმოიცემა ამ სურათით?

ცნობილია მე-18 საუკუნის კიდევ ერთი ფილოსოფოსის დევიდ ჰიუმის მაგალითი მიზეზ-შედეგობრიობისა. რა არის ქვემოთ მოცემული წინადადების მნიშვნელობა?

The white ball hit the green ball, and that caused the green ball to move.

„თეთრი ბურთი დაეჯახა მწვანე ბურთს და ამან გამოიწვია მწვანე ბურთის მოძრაობაში მოყვანა.“

რა შეიძლება ვიზუალურად გამოისახოს? – რომ თეთრი ბურთი ეჯახება მწვანე ბურთს, რასაც მოჰყვება მწვანე ბურთის ამოძრავება. მაგრამ იგივე ვიზუალიზაცია შეესაბამება ქვემოთ მოხმობილ წინადადებას, რომელშიც არაფერია ნათქვამი მიზეზ-შედეგობრიობაზე:

The white ball hit the green ball and then immediately the green ball moved.

„თეთრი ბურთი დაეჯახა მწვანე ბურთს და შემდეგ მაშინვე მწვანე ბურთი ამოძრავდა.“

მიზეზ-შედეგობრიობა ის ძირითადი ასპექტია, რომელიც განსაზღვრავს სამყაროს ჩვენეულ ხედვას, მაგრამ ის არ ჩანს ვიზუალურ გამოსახულებაში, ის არის ამ გამოსახულების ინტერპრეტაციაში, ანუ ეს არის მნიშვნელობა, რომელსაც გამოსახულებას მივანერთ.

აბა, რა გექნებოდათ ვიზუალურ გამოსახულებაში, რომელსაც უნდა გადმოეცა ქვემოთ მოცემული წინადადებების მნიშვნელობები? პატარა ისრები და სხვა ამგვარი ნიშნები ჩვენს გამოსახულებებში არ გამოიყენება.

LANGUAGE

There is a bird in that tree.

„იმ ხეზე არის ჩიტი.“

A bird was in that tree yesterday.

„იმ ხეზე გუშინ იყო ჩიტი.“

Is there a bird in that tree?

„იმ ხეზე არის ჩიტი?“

A bird might be in that tree.

„იმ ხეზე შეიძლება იყოს ჩიტი.“

ვიზუალურად ვერაფრით გამოვსახავთ განსხვავებას ანმცოსა და წარსულ დროს შორის (შდრ. პირველი და მეორე წინადადებები), ან თხრობითსა და კითხვით წინადადებებს შორის ან ფაქტის კონსტანტაციასა და ფაქტის შესაძლებლად წარმოჩენას შორის (შდრ. პირველი და მეოთხე წინადადებები).

ცოტა გავუსწროთ მსჯელობას და განვიხილოთ წინადადებები:

Birds like the tree.

„ჩიტებს მოსწონთ ეს ხე.“

That tree looks like a bird.

„ეს ხე ჩიტს ჰგავს.“

All birds sit in trees.

„ყველა ჩიტი ხეებზე ჯდება.“

I owe you \$10.

„შენი \$10 მმართვეს.“

Millard Fillmore was the thirteenth President of the US.

„მილარდ ფილმორი იყო აშშ-ის მეცამეტე პრეზიდენტი.“

ვიზუალურ გამოსახულებაში არაფერი გამოხატავს ჩიტის დამოკიდებულებას ხის მიმართ, რასაც პირველი წინადადება გადმოგვცემს. მომდევნო წინადადების ვიზუალიზაციისათვის შეიძლება დავხატოთ ხე, რომელიც ფორმით ჩიტს ჰგავს, მაგრამ ხის ამ თავისებურებაზე, განსაკუთრებულობაზე არაფერი მიუთითებს.



ასევე, ვიზუალურად ვერ გამოვსახავთ *all*-ის („ყველა“) მნიშვნელობას (მესამე წინადადება), ვერც სოციალური კონცეპტებისა და ღირებულებების მნიშვნელობებს (როგორც არის ფული), ვერც „მმართველ“ ზმნის მნიშვნელობას (მეთხეწინადადება) და ასევე შეუძლებელია ვიზუალიზაცია ბოლო წინადადების იმ ცნებებისა, რომელთა მნიშვნელობა სულაც არ არის დამოკიდებული იმის ცოდნაზე, თუ როგორ გამოიყურებოდა პრეზიდენტი ფილმორი. დაბოლოს, დავუბრუნდეთ ჩვენს პირველ თავსატეხს: *this*-ის მნიშვნელობაც ვერაფრით გადმოიცემა ვიზუალურ გამოსახულებაში.

მოკლედ რომ ვთქვათ, მიუხედავად იმისა, რომ სიტყვებისა და წინადადებების მნიშვნელობები ხშირად ვიზუალურ წარმოდგენებს უკავშირდება, ყველა მნიშვნელობა ვერ იქნება ვიზუალური გამოსახულება. ამგვარად, მე კვლავ ვადასტურებ, რომ მნიშვნელობა საზოგადოდ (ან უმეტესად) დაფარულია.

როდესაც ვამბობთ, რომ მნიშვნელობები დაფარულია, ეს როდი ნიშნავს, რომ მათ ზემოქმედებითი ძალა არ გააჩნიათ. მნიშვნელობების ზემოქმედებითი ძალა ჩანს ჩვენს მთელ რიგ აქტივობებში, რომლებიც მნიშვნელობებს უკავშირდება. ჩვენ შეგვიძლია იდენტიფიცირება და კლასიფიკაცია საგნებისა გარე სამყაროში; ჩვენ შეგვიძლია მივყვეთ ინსტრუქციას, შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, დავხატოთ ნახატი და წარმოვთქვათ წინადადება, რომელსაც, სავარაუდოდ, სხვები გაიგებენ. ჩვენი ყველა ეს აქტივობა შესაძლებელია მაშინ, როცა „ხელს ჩავავლებთ, მოვიხელთებთ“ მნიშვნელობას. პარადოქსი ის გახლავთ, რომ ჩვენ მნიშვნელობის მოხელთებას ვახერხებთ ისე, რომ მნიშვნელობის ფორმის შესახებ ბევრი არაფერი ვიცით.

თარგმნა ეთერ სოსელიამ

DAS WORTFELD “FREIHEIT” IN VERSCHIEDENEN SPRACHKREISEN: DIE ENTWICKLUNG VOM SOZIALEN ZUM INDIVIDUELLEN BEGRIFF

Irine Melikischwili

Worte, die den Begriff der „Freiheit“ bezeichnen, besitzen verschiedene Etymologien in verschiedenen Sprachen. Durch die Betrachtung dieser Bezeichnungen ergibt sich ein Bild der inhaltlicher Entwicklung, der im anthroposophischen Licht interessante Deutung zulässt. Es ist zu verfolgen, wie der Begriff, der früher einen sozialen Charakter trug, allmählich eine persönliche, individuelle Qualität annimmt. In dem Aufsatz werden verschiedene semantische Wege der Bildung der Worte für die Bezeichnung des Begriffes der „Freiheit“ betrachtet, die mit verschiedenen Stufen der Entwicklung dieses Begriffes zusammengebracht werden können.

1. Nehmen wir zunächst die Worte, die im griechisch-lateinischen Sprachkreis diesen Begriff bezeichnen:

lat. *liber* und gr. *eleuther-os* „frei“ stammen von der indogermanischen Wurzel **leudh-* „emporwachsen, hochkommen“; aind. *ródhati*, av. *raodati* „wächst“ und got. *liudan* „wachsen“; got. *laudi* „Gestalt“. Schon im Indogermanischen sind die abgeleitete Formen: **leudho-*, *leudhi-* „Nachwuchs, Volk“; **leudhero-* „zum Volk gehörig, frei“ gebildet. altsl. *ljudje* „Leute“, ahd. *liute*, ags. *lēad* „Volk“, mhd. *liute*, asächs. *liudi*, aengl. *lōede* „Leute, Menschen“, lett. *laudis*, lit. *liadis* „Volk, Leute“, burgund. *leudis* „der Gemeinfreie“ u. a.¹

Die semantische Entwicklungen kann so vorgestellt werden: Wachstum > Emporgewachsenes, Gestalt > die Leute, das Volk (Emporgewachsene aus einer Wurzel, vgl. deutsch. *Stamm*, engl. *Stock* mit pflanzlichen und ethnischen Bedeutungen) > der „freie Mensch“, der zu dem Volke gehört, da er aus derselben Wurzel emporgewachsen ist.

Der Begriff der „Freiheit“ gründet sich auf der **Sozialisierung** des Begriffes des Emporwachsens der Menschen aus einer Wurzel. Die Zusammengehörigkeit beruht auf gemeinsamer Herkunft, auf der **Blutsverwandtschaft**. „Frei“ ist der, der von der gleichen Wurzel entsprossen ist.

Vgl. das Wort „frei“ im Altpersischen: *āzāta* (neupers. *āzād*) „frei <geboren im Erbstrom“, *āznā-ya* „geboren im großen Haus“. Das Präfix *ā-* bezeichnet das Niedersteigen im Erbstrom bis zu einem gewissen Punkt. Der ist frei, der in einen bestimmten Erbstrom hineingeboren ist.

2. Eine andere etymologische Reihe bilden die Bezeichnungen des Begriffes der Freiheit im germanischen Sprachkreis:

Deutsche und englische Bezeichnungen *frei*, *free* stammen vom indogermanischen Wurzel **prāi-* „gernhaben, schonen; friedlich-frohe Gesinnung“, mit Ableitungen: **prito-* „geliebt“, **prijo*, *prija* „Gattin“, **prijotā* „Liebe“.

Die Nachkommen dieser Wurzel sind belegt im griechischen, in indoiranischen, slawischen, germanischen und keltischen Sprachen:

aind. *priya-*, avesta *friya-* „angenehm, geliebte“; asl. *prijati-* „günstig sein, beistehen“
russ. *prijatel’* „Freund“, *prijatnij* „angenehm“, ahd. *fridual* aisl. *fridill* „Geliebter, Freund“,
schwed. *frände* „Verwandte“;

got. *frijōn* „lieben“, *freidjan* „schonen“, ahd. *fridu* „Schutz, Friede“, ags. *frēo*, *frī*, aisl. *frijāls* „frei“, urspr. „zu den Lieben gehörig“².

Die Bedeutung „frei“ hat sich im germanischen Sprachraum entwickelt: Personen, die man liebt, und daher schützt, sind die eigenen Sippen- und Stammesgenossen, die „Freunde“, sie allein stehen frei, d.h. vollberechtigt in der Gemeinschaft im Gegensatz zu den fremdbürtigen Unfreien (Unterworfenen, Kriegsgefangenen).

LANGUAGE

In diesem Sprachkreis hat die Bezeichnung der Freiheit wieder den **sozialen** Sinn, aber mehr vom **seelischen** (gefühlsmäßigen, affektiven) Charakter.

3. Eine andere interessante Entwicklung zeigen die slawischen Sprachen:

urslav. **sveboda*, „Freiheit, Zustand des Sippenangehörigen“, **svob-*, *svoj-* aksl. *svobstvo* „persona“, russ. ukr. bulg. serb. tschech. *svoboda*, poln. *swieboda* „Freiheit“. Diese Worte stammen von der idg. **seye/sye* „eigen, selbst“ abgeleiteten Form - **sye-bho* „von eigener Art“.

ai. *sabhā* „Versammlung“ u.a. In einigen germanischen Sprachen sind von dieser Form die Worte für Sippenangehörigkeit entwickelt: z.B. got. *sibja*, ahd. *sipp(e)* „Sippe, Gesamtheit der eigenen Leute“; germ *Suēbu*, ahd. *Swāba* „Schwaben“³.

Das slawische Wort für „frei“ hat den **sozialen** Sinn der Sippenangehörigkeit; dieses Mal gründet sich die Bildung auf dem Possessivpronomen und die persönliche Beziehung rückt etwas mehr in den Vordergrund. Da hat sich die semantische Entwicklung - Poss.-refl. Pronomen > eigene > zum eigenen Volk gehörige > freie – stattgefunden.

4. In georgischer Sprache (Südkaucasischer Sprachkreis) wird der Begriff „frei“ durch das Wort *tavisupali* bezeichnet.

Das Wort ist zusammengesetzt aus den Wörtern *tavi* - Reflexivpronomen „selbst“ und *upali* „Herr“: *tavisupali* ist „der Herr von sich selbst, der Selbst Beherrscher“. Das Wort enthält keinen Hinweis auf die soziale Zugehörigkeit. *tavisupali* ist der Herr von sich selbst und folglich kein Untertan. Er ist unabhängig, hat keinen anderen Herren (*upali*) als sich selbst (*tavi*).

Das Wort ist belegt in den ältesten georgischen Übersetzungen des neuen Testaments, die aus den ersten christlichen Jahrhunderten (IV-V Jh, vielleicht auch früher) stammen. In den Texten des Evangeliums entsprechen dem *eleutheros*, *eleutheria* des griechischen Originals immer die Worte *tavisupali* „frei“ und *tavisupleba* „Freiheit“ in georgischer Übersetzung. Diese Worte sind belegt auch in den altgeorgischen Übersetzungen des Alten Testaments, z.B. im Deuteronomium 15, 12 u.a.

Das Wort bezeichnet den Begriff der **individuellen, persönlichen** Freiheit. Der Freie ist der, der sich selbst beherrscht; der Begriff ist **selbstorientiert** – der Freie gehört sich selbst

und kein Anderer hat Gewalt über ihn. Die Wortbildung entspricht in wunderbarer Weise den Worten von Goethe:

„Wer sich nicht selbst befiehlt,
bleibt immer ein Knecht.“ (Zahme Xenien)

So ergeben sich folgende Stufen der Entwicklung des Begriffes der „Freiheit“:

- I. Frei sind die Menschen, die aus einer Wurzel emporgewachsen, in einem Erbstrom geboren sind (*lieber, eleutheros, āzāt*). Der Begriff beruht sich auf den Ideen des „Wachstums, des im Erbstromgeboreenseins“, d.h. auf den ätherischen Lebensprinzipien.
- II. Frei sind die Menschen, die in einer Sippe in seelischer Zuneigung vereint sind (*frei, free*). Der Begriff hat einen seelischen Charakter.
- III. Frei sind die Menschen, die zu unserer Sippe, Gemeinschaft gehören, die Unsrigen (*svoboda*).
- IV. Frei ist ein Mensch, der sich selbst beherrscht, der Herr von seinem Selbst ist.

Erste drei Bildungen sind sozial-, die vierte aber individuell orientiert.

Diese Wortbildungen stammen aus verschiedenen Zeiten: Die griechisch-lateinische Bildung ist in der Zeit am meisten entfernt und die Georgische ist die jüngste. Gegenwärtig ist die Grundbedeutung von allen diesen Wörtern der modernen Sprachen die Bezeichnung der persönlichen Freiheit. Aber sie sind auf verschiedenen Stufen der Bewusstseinsentwicklung entstanden und offenbaren verschiedene Auffassungen der Idee der Freiheit. Diese Stufen der Wortbildung stellen die Entwicklung des Begriffes von **sozialer** Zusammengehörigkeit (Lebens-, Seelen-, Possessiven) zur **individuellen** dar. Diese Entwicklungsreihe ist im Einklang mit dem Evolutionsbild von Rudolf Steiner. Er spricht davon, daß der Begriff der individuellen Freiheit impfte sich dem Menschen um die Mitte des Mittelalters, als die fünfte Kulturepoche begann, und das Ich des Menschen in die Bewusstseinsseele eintrat. „...vom 10., 11., 12. Jahrhundert angefangen, sind wir in der Epoche des Eintretens des Ich in die Bewußtseinsseele. So spät ist das erst gekommen. In die Bewusstseinsseele trat das Ich erst ungefähr um die Mitte des Mittelalters... Damals impfte sich dem Menschen ein ganz bestimmter Begriff ein von **individueller Freiheit**, von individueller Ich-Tüchtigkeit.

LANGUAGE

Wenn sie noch die erste Zeit des Mittelalters betrachten, würden sie durchaus noch überall finden, daß der Mensch in einer gewissen Weise gilt durch das, wie er in die Gesellschaft hineingestellt ist".⁴ Rudolf Steiner hat oft darauf hingewiesen, daß Freiheit sich nicht auf die Volkheit anwenden läßt, denn Freiheit ist nur anwendbar auf den einzelnen Menschen als Individuum. „Mit den Begriffen, wie sie die heutige Menschheit hat über den einzelnen Menschen und seine Beziehungen zum Volk, kann man sich vor den Wesen der geistigen Welten nicht sehen lassen... denn Freiheit, das erkennt man aus der Geisteswissenschaft heraus, ist ein Begriff, nur anwendbar auf den einzelnen Menschen als Individuum, nicht aber auf die Volkheit mit ihrer Gruppenseele. Da gelten andere Begriffe als Freiheit“⁵.

Das Eigentümliche ist aber: das georgische Wort *tavisupali* ist viel früher als das 10. Jahrhundert gebildet. Es kann nicht später als vom 4. Jahrhundert sein (die obere Grenze ist die altgeorgische Übersetzung der Evangelien); wie tief die untere Grenze ist, kann man - mangels früherer Überlieferungen - durch die äußeren Tatsachen nicht bestimmen.

Man kann vermuten, daß diese Schöpfung des georgischen Sprachgeistes im Kaukasus, wo nach der Sage der Titan Prometheus an den Felsen geschmiedet wurde, mit dem verfrühten Einimpfen des Ich-Bewußtseins und Freiheitssinnes der Menschheit zu tun hat.

Diese Einimpfung der bestimmten Seelenqualität in einer Region, einem Volk und zu einer bestimmten Zeit kann in Vergleich gestellt werden mit dem, was Rudolf Steiner über die Einimpfung der Menschheit der *Intellektualität* durch das Hebräische Volk spricht. Prometheus ist derjenige, der den Menschen **verfrüht** den Impuls des Ich und der Freiheit gebracht hat. Rudolf Steiner sagt, daß dieser Funken war von dem Geiste, der den Menschen zum freien Wesenheit gemacht hat. Der Geist, der zu den Aposteln niedergestiegen ist während des Pfingstens, ist verwandt mit dem Geist, der heruntergefallen ist und sich einverleibt hat dem Prometheus. Darum ist das Pfingstfest auch das Fest von Prometheus, der Fest der Freiheit⁶. Der Pfingstfest stellt auch in wunderbarer Weise die Individualisierung des Geistes dar: „Allerwichtigste an dem Pfingstereignis ist, das ein gemeinsames Leben derjenigen, die an dem großen Osterereignis der Menschheit teilgenommen haben, sich individualisierte. Die feurigen Zungen gingen auf das Haupt eines jeden hernieder, und ein Jeder lehrte in derjenigen Sprache, die keiner anderen gleich und deshalb allen verständlich ist“⁷. Prometheus, der heruntergestiegen ist, um sich aus der Freiheit heraus emporzuentwickeln, muß für sein Bestreben büßen dadurch, daß fortwährend ein Adler

– als Symbol des Astralleibes – an seiner Leber nagt und ihm dadurch die furchtbarsten Schmerzen verursacht. Dieses Bild wurde in Ägypten dem Schüler gegeben, und ist dann nach Griechenland hinübergewandert als Prometheussage⁸.

So kann man sagen, daß die Prometheussage von der verführten Ich- und Freiheitsimpfung der Menschheit und von der Fesselung von Prometheus an den Felsen im Kaukasus im Einklang ist mit der verführten Bildung des individuellen Freiheitsbegriffes in georgischer Sprache. Das kann ein Hinweis sein, daß diese Impfung tatsächlich im Kaukasus und im georgischen Volk stattgefunden gehabt soll.

Nach der Mitteilung von Pf. Adamec (Prag) soll Rudolf Steiner in einem Gespräch gesagt haben: „Die Kaukasusmenschen kann man nie beherrschen, sie sind freie“. In diesem Sinn kann man von der Mission des georgischen Volkes denken und vermuten, daß die Menschen mit ausgeprägtem Freiheitssinn Inkarnationen in dieser Region erlebt haben sollen.

- ¹ Julius Pokorny, Indogermanisches etymologisches Wörterbuch, Franke Verlag Bern und München, 1959, S. 684-685.
- ² Julius Pokorny, Indogermanisches etymologisches Wörterbuch, S. 845. Das Herkunftswörterbuch, Etymologie der deutschen Sprache, Duden, 7, Dudenverlag, Mannheim, 1989, S. 203.
- ³ Julius Pokorny, Indogermanisches etymologisches Wörterbuch, S. 882-883.
- ⁴ Rudolf Steiner, Das Johannes-Evangelium, GA 103, 10, S. 17.
- ⁵ Rudolf Steiner, Menschliche und menschheitliche Entwicklungswahrheiten; Das Karma des Materialismus, 176, 9, S. 356.
- ⁶ Rudolf Steiner, Die Tempellegende und die goldene Legende als symbolischer Ausdruck vergangener und zukünftiger Entwicklungsgeheimnissen des Menschen, GA 93, 14.
- ⁷ Rudolf Steiner, Anthroposophische Lebensgaben, GA 181, 2, 56.
- ⁸ Rudolf Steiner, Ägyptische Mythen und Mysterien im Verhältnis zu den wirkenden Geisteskräften der Gegenwart, GA 106, 10.

ცოდნის ლოგიკა

რ. ფაგინი, ჯ. ი. ჰალპერნი, ი. მოსესი, მ. ი. ვარდი,

გთავაზობთ წიგნის „ცოდნის ლოგიკა“ (Ronald Fagin, Joseph Y. Halpern, Yoram Moses, Moshe Y. Vardi, Reasoning About Knowledge, MIT Press. 1995.) პირველი ორი თავის (1. Introduction and Overview, 2.A Model for Knowledge) თარგმანს. მეორე თავი სრულადაა წარმოდგენილი, პირველი თავიდან გამოტოვებულია მხოლოდ მცირე ფრაგმენტი, რომელიც წიგნში მასალის ორგანიზების ტექნიკურ საკითხებს ეხებოდა და მკითხველისთვის ალბათ არც იქნებოდა საინტერესო.

თავი 1 შესავალი და მიმოხილვა

ცოდნაში ინვესტიცია ყველაზე დიდ მოგებას იძლევა.
ბენჯამენ ფრანკლინი, *Poor Richard's Almanac*, დაახ. 1750

ეპისტემოლოგიას, მეცნიერებას ცოდნის შესახებ, გრძელი და ღირსშესანიშნავი ისტორია აქვს ფილოსოფიაში და სათავეს იღებს ძველი ბერძენი ფოლოსოფოსებისგან. ფილოსოფიურ ლიტერატურაში ფართოდ განიხილებოდა ისეთი საკითხები, როგორებიცაა „რა ვიცით?“, „რისი ცოდნაა შესაძლებელი?“ და „რას ნიშნავს, რომ მავანმა იცის რაღაც?“. ცოდნის შესახებ მსჯელობის ფორმალური ლოგიკური ანალიზი შედარებით ახალი იდეაა, თუმცა მის დასაწყისად, უკიდურეს შემთხვევაში, ფონ ვრიგთის შრომა შეიძლება ჩაითვალოს — 1950-იანი წლების პირველ ნახევარში. *ეპისტემური ლოგიკის* — ცოდნის ლოგიკის — პირველი მონოგრაფიული კვლევა არის ჰინტიკას ცნობილი

ნაშრომი ცოდნა და რწმენა (Knowledge and Belief), რომელიც 1962 წელს გამოვიდა. 1960-იან წლებში ფილოსოფიურ წრეებში განსაკუთრებით გაღვივდა ინტერესი ამ სფეროს მიმართ. მთავარი საკითხი იყო ცოდნის იმანენტური თვისებების გამოვლენა. შემოთავაზებულ იქნა აქსიომები ცოდნის შესახებ, რომლებსაც ზოგი აკრიტიკებდა, ზოგიც იცავდა.

უკანასკნელ ხანებში ცოდნის ანალიზით დაინტერესდნენ ისეთ განსხვავებულ სფეროებში მომუშავე მკვლევრები, როგორებიცაა: ეკონომიკა, ლინგვისტიკა, ხელოვნური ინტელექტი და თეორიული კომპიუტერული მეცნიერება. ის საკითხები, რაც ფილოსოფოსებს აწუხებდათ, რა თქმა უნდა, ამ მკვლევრების ინტერესსაც იწვევდა, მაგრამ მთავარი აქცენტი მაინც შეიცვალა. ჯერ ერთი, გაჩნდა პრაგმატული ინტერესი ცოდნისა და ქმედების ურთიერთმიმართების შესახებ. რა უნდა იცოდეს რობოტმა იმისთვის, რომ გაალოს სეიფი და როგორ უნდა გაიგოს, საკმარისი ცოდნა აქვს თუ არა მის გასაღებად? რა ეტაპზე ექნება ეკონომიკურ აგენტს საკმარისი ცოდნა იმისთვის, რომ შეწყვიტოს ინფორმაციის მოგროვება და გადაწყვეტილების მიღებას შეუდგეს? დასმულ შეკითხვაზე როდის უნდა გასცეს მონაცემთა ბაზამ პასუხი „არ ვიცი“? პრობლემად რჩება ცოდნის გამოთვლითი სირთულეც – ცნება, რომელიც ახლა, თეორიულ კომპიუტერული მეცნიერებაში მიღწეული წარმატებების წყალობით, უფრო ნათლად შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ. დასასრულ, რაც ამ შემთხვევაში ჩვენთვის ალბათ ყველაზე უფრო საინტერესოა, მნიშვნელოვანი აქცენტი კეთდება ისეთი სიტუაციების განხილვაზე, რომლებშიც უნდა გაანალიზდეს აგენტების ჯგუფების და არა მხოლოდ ცალკეული აგენტის ცოდნა.

როცა ცდილობდნენ გაეგოთ და გაეანალიზებინათ ცოდნის თვისებები, ფილოსოფოსები, როგორც წესი, განიხილავდნენ მხოლოდ ერთი აგენტის შემთხვევას. მაგრამ დიალოგის, მოლაპარაკების, ან დანაწილებულ სისტემაში მიმდინარე პროცესით მართული პროტოკოლის ანალიზის მთავარი ობიექტი აგენტების ურთიერთქმედებაა. ამ წიგნის ძირითადი თემა ჯგუფის ფარგლებში ცოდნის შესახებ მსჯელობის პროცესში გარკვევაა, რაც შემდგომ გააადვილებს რთული სისტემების ანალიზს. მართალია, მკითხველი დიდად არ შეცდება, თუ „ჯგუფში“ ადამიანების ჯგუფს იგულისხმებს, მაგრამ უფრო მიზანშეწონილი იქნება, თუ „ჯგუფს“ უფრო ფართო მნიშვნელობით გამოვიყენებთ — რაშიც ადვილად დავრწმუნდებით, როცა განვიხილავთ ამ თეორიის გამოყენების

LOGIC

სფეროებს. ჩვენი აგენტები შეიძლება იყვნენ მოლაპარაკების პროცესში ჩართული ადამიანები, ურთიერთმოქმედი რობოტები ან ისეთი კომპონენტებიც კი, როგორებიცაა სადენები ან შეტყობინებათა ბუფერები რთულ კომპიუტერულ სისტემებში. შეიძლება უცნაურად მოგეჩვენოთ სადენების განხილვა ისეთ აგენტებად, რომლებმაც იციან ფაქტების შესახებ; მაგრამ, როგორც ვნახავთ, მიზანშეწონილი შეიძლება აღმოჩნდეს ცოდნის მინერა სადენებისთვისაც კი.

ჯგუფში მყოფმა აგენტმა მხედველობაში უნდა მიიღოს არამარტო ქეშმარიტი ფაქტები სამყაროს შესახებ, არამედ ჯგუფის სხვა აგენტების ცოდნაც. მაგალითად, სავაჭრო გარიგების დადებისას მანქანის გამყიდველმა უნდა გაითვალისწინოს, თუ რა იცის მანქანის ღირებულების შესახებ პოტენციურმა მყიდველმა. მყიდველმაც უნდა გაითვალისწინოს, თუ რა იცის გამყიდველმა მყიდველის ცოდნის შესახებ მანქანის ღირებულებაზე და ა.შ. ასეთმა განსჯამ შეიძლება საკმაოდ ჩახლართული ფორმა მიიღოს. ადამიანების უმრავლესობა მალევე კარგავს მსჯელობის ძაფს ისეთ მრავალგზის ჩართულ წინადადებებში, როგორიცაა „დინმა არ იცის, იცის თუ არა ნიქსონმა, რომ დინმა იცის, რომ ნიქსონმა იცის, რომ მაკკორდმა უკანონოდ შეაღწია ობრაინის ოფისში უოთერგეითში.“ მაგრამ ეს ზუსტად იმ ტიპის განსჯაა, რომელიც საჭიროა აგენტთა ჯგუფის ცოდნის ანალიზისთვის.

მულტიაგენტურ სიტუაციაში ბუნებრივად ჩნდება ცოდნის მრავალი მდგომარეობა, რომელსაც ვერ შევხვდებით ერთაგენტიან შემთხვევაში. ხშირად გვინტერესებს ისეთი სიტუაცია, სადაც ჯგუფში ყველამ იცის რაღაც ფაქტის შესახებ. მაგალითად, ნებისმიერი საზოგადოება დაინტერესებულია, რომ ყველა მძღოლმა იცოდეს, რომ ნითელი შუქი ნიშნავს „გაჩერდი“ და მწვანე — „წადი“. ვთქვათ, ვთანხმდებით იმაზე, რომ საზოგადოებაში ყოველმა მძღოლმა იცის ამის შესახებ და წესებსაც იცავს. იგრძნობენ თუ არა ასეთ დროს მძღოლები თავს უსაფრთხოდ? პასუხი დადებითი იქნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მძღოლს ეცოდინება, რომ ყველა სხვა მძღოლმაც იცის ამის შესახებ და იცავს წესებს. სხვა შემთხვევაში მძღოლმა შეიძლება დაუშვას, რომ, იმის მიუხედავად, რომ მან იცის წესები, სხვა რომელიმე მძღოლმა ის შეიძლება არ იცოდეს და ნითელ შუქზე გაიაროს.

მთელ რიგ სფეროებში ცოდნის ისეთი მდგომარეობაც კი არ არის საკმარისი, როცა ყველამ იცის, რომ ყველამ იცის. ზოგჯერ ჩვენ ასევე გვჭირდება ისეთი

მდგომარეობის განხილვა, როცა ყველამ ერთდროულად იცის რაღაც φ ფაქტის შესახებ, ყველამ იცის, რომ ყველამ იცის φ -ის შესახებ, ყველამ იცის, რომ ყველამ იცის, რომ ყველამ იცის φ -ის შესახებ და ა.შ. ამ შემთხვევაში ვიტყვით, რომ ჯგუფს აქვს φ -ის შესახებ *ერთობლივი ცოდნა*. ეს უმნიშვნელოვანესი ცნება პირველად ფილოსოფოსმა დევიდ ლუისმა შეისწავლა კონვენციებთან დაკავშირებით. როგორც ლუისი აღნიშნავდა, რაღაც რომ იქცეს კონვენციად, ამისთვის ჯგუფის წევრებს შორის ის უნდა იყოს ერთობლივი ცოდნა. (მაგალითად, კონვენცია იმის თაობაზე, რომ წითელი შუქი ნიშნავს „შეჩერდი“ და მწვანე — „ნადი“, სავარაუდოდ, ჩვენ საზოგადოებაში არის ერთობლივი ცოდნა მძღოლებს შორის.) ჯონ მაკართი, როცა განიხილავდა „სალ მსჯელობას“, ერთობლივ ცოდნას ახასიათებდა, როგორც იმას, რაც „ნებისმიერმა სულელმა“ იცის; „ნებისმიერმა სულელმა“ იცის ის, რაც ზოგადად ცნობილია საზოგადოების ყველა წევრისთვის.

ერთობლივი ცოდნის საკითხი ასევე წამოიჭრება დისკურსის გაგების დროს. დავუშვათ, ენი ეკითხება ბობს „რას ფიქრობ ამ ფილმზე?“ და მხედველობაში აქვს *მაიმუნის ოინები*, რომელიც ეს-ესაა ნახეს. ენმა და ბობმა არამარტო ის უნდა იცოდნენ, რომ „ამ ფილმში“ იგულისხმება *მაიმუნის ოინები*, არამედ ენმა უნდა იცოდეს, რომ ბობმა ეს იცის (ენი რომ დარწმუნებული იყოს, რომ ბობი ადეკვატურ პასუხს გასცემს მის კითხვას), ბობმა უნდა იცოდეს, რომ ენმა იცის, რომ ბობმა იცის (ბობმა რომ იცოდეს, რომ ენი შესაბამისად გამოეხმაურება მის პასუხს) და ა.შ. ფაქტიურად, ამ სიტუაციის უფრო დეტალური ანალიზის შედეგად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ იმისთვის, რომ ბობმა ადეკვატურად უპასუხოს შეკითხვას, უნდა არსებობდეს ერთობლივი ცოდნა იმის შესახებ, თუ რომელი ფილმი იგულისხმებოდა.

დასასრულ, ასევე ირკვევა, რომ ერთობლივი ცოდნა არის წინაპირობა შეთანხმების მისაღწევად. სწორედ ამიტომ არის ის ასე მნიშვნელოვანი აგენტების ჯგუფების ურთიერთმოქმედების ანალიზისთვის.

ერთობლივი ცოდნის საპირისპიროდ, სპექტრის მეორე ბოლოს არის განაწილებული ცოდნა. ჯგუფს აქვს φ ფაქტის შესახებ განაწილებული ცოდნა, თუ φ -ის ცოდნა განაწილებულია მის წევრებს შორის ისე, რომ მათი ცოდნის თავმოყრით ჯგუფის წევრებს შეუძლიათ დაასკვნან φ , თუმცა შესაძლოა ჯგუფის არცერთმა ცალკე აღებულმა წევრმა არ იცოდეს φ . მაგალითად, თუ ელისმა იცის,

LOGIC

რომ ბოზს უყვარს კეროლი ან სიუზანი და ჩარლიმ იცის, რომ ბოზს არ უყვარს კეროლი, მაშინ ელისს და ჩარლის ერთობლივად აქვთ განაწილებული ცოდნა იმის შესახებ, რომ ბოზს უყვარს სიუზანი, თუმცა არც ელისმა და არც ჩარლიმ ცალ-ცალკე არ იციან ამის შესახებ. მაშინ, როცა ერთობლივ ცოდნად შეიძლება მივიჩნიოთ ის, რაც „ნებისმიერმა სულელმა“ იცის, განაწილებულ ცოდნად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რაც „ბრძენს“ — მას, ვისაც აქვს სრული ცოდნა იმისა, რაც იცის ჯგუფის თითოეულმა წევრმა — ეცოდინებოდა.

ერთობლივი ცოდნისა და განაწილებული ცოდნის ცნებები დიდად გვეხმარება ისეთ რთულ სიტუაციათა გაგებასა და ანალიზში, რომელშიც აგენტთა ჯგუფები არიან ჩართულნი. ამის მაგალითია შემდგომ ქვეთავში აღწერილი თავსატეხი.

1.1 დასვრილი ბავშვების თავსატეხი

ჯგუფის ცოდნის შესახებ განსჯა შეიძლება უკავშირდებოდეს ცოდნის მდგომარეობათა შორის ფაქიზ, ძნელადმესამჩნევ განსხვავებებს. ამ ძნელად მოსახელთებელი ნიშნების კარგ მაგალითს იძლევა „დასვრილი ბავშვების“ თავსატეხი, რომელიც არის „ბრძენკაცების“ ან „მოლალატე ცოლების“ ცნობილი თავსატეხის კიდევ ერთი ვარიანტი.

წარმოვიდგინოთ n რაოდენობის ერთად მოთამაშე ბავშვი. ეს ბავშვები დედამ გააფრთხილა, რომ, თუ დაისვრებოდნენ, მკაცრად დასჯიდა. ამგვარად, თითოეულ ბავშვს უნდა თვითონ სუფთა იყოს, მაგრამ დიდად არ იდარდებდა, სხვა თუ დაისვრებოდა. ისე მოხდა, რომ თამაშისას ზოგ მათგანს, ვთქვათ, k რაოდენობის ბავშვს დაესვარა შუბლი. თითოეული ხედავს ტალახს სხვის შუბლზე, მაგრამ ვერ ხედავს, მისი შუბლი დასვრილია თუ არა. ასე რომ, არავინ არაფერს არ ამბობს. ამ დროს მოდის მამა და ამბობს, „სულ ცოტა ერთ თქვენგანს მაინც შუბლი ტალახით აქვს დასვრილი“ და ამით აღნიშნავს იმ ფაქტს, რომელიც ისედაც ცნობილი იყო მათთვის იქამდეც, ვიდრე მამა რამეს იტყოდა (თუ $k > 1$). ამის შემდეგ მამა კვლავ და კვლავ იმეორებს შემდეგ შეკითხვას: „იცის თუ არა რომელიმე თქვენგანმა დასვრილი აქვს თუ არა საკუთარი შუბლი?“ თუ ვიგულისხმებთ, რომ ყველა ბავშვი არის ადეკვატური, საზრიანი, გულწრფელი და კითხვას ყველა ერთდროულად პასუხობს, რა მოხდება ასეთ შემთხვევაში?

არსებობს იმის „დამტკიცება“, რომ პირველ $k - 1$ კითხვას ყველა პასუხობს „არას“, მაგრამ როგორც კი კითხვა k -ჯერ გამოვრდება, ყველა ბავშვი, ვისაც დასვრილი აქვს შუბლი, უპასუხებს „დიახ“.

„დამტკიცება“ ხორციელდება k -ზე ინდუქციით. $k = 1$ -სთვის შედეგი ნათელია: ერთი დასვრილი ბავშვი ხედავს, რომ სხვას არავის არ აქვს შუბლი დასვრილი. რადგან მან იცის, რომ სულ ცოტა, ერთ ბავშვს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი, ის ასკენის, რომ სწორედ თვითონაა ის ერთი ბავშვი. ახლა დავუშვათ, $k = 2$. ამდენად, სულ ორ ბავშვია დასვრილი, a და b . ყოველი მათგანი პირველ ჯერზე „არას“ პასუხობს, რადგან ხედავს ტალახს მეორის შუბლზე. მაგრამ როცა b ამბობს „არას“, a ხვდება, რომ მას უნდა ჰქონდეს შუბლი დასვრილი, რადგან სხვა შემთხვევაში b გაიგებდა, რომ ტალახი სწორედ მის შუბლზე იყო და უპასუხებდა „დიახ“ პირველსავე შეკითხვაზე. ამრიგად, a პასუხობს „დიახ“ მეორე ჯერზე. მაგრამ b -ც ასევე მსჯელობს და მოქმედებს. ახლა დავუშვათ, $k = 3$; ასე რომ შუბლი სამ ბავშვს აქვს დასვრილი, a -ს, b -ს და c -ს. ბავშვი a ასე მსჯელობს: დავუშვათ, მე არ მაქვს შუბლი დასვრილი. მაშინ, თუ $k = 2$, ორივე, a -ც და b -ც უპასუხებდნენ „დიახ“ მეორეჯერ დასმულ კითხვას (უკვე განხილული შემთხვევის თანახმად). რადგან ისინი ასე არ მოიქცნენ, ის ხვდება, რომ დაშვება არასწორი იყო და შუბლი მასაც დასვრილი აქვს და მესამედ დასმულ კითხვაზე უპასუხებს „დიახ“. ანალოგიურად იქცევიან b -ც და c -ც.

მსჯელობა ზოგადი შემთხვევისთვისაც ამ ფორმით გრძელდება.

ფაქტი „სულ ცოტა ერთ ბავშვს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი“ აღვნიშნოთ p -თი. შევნიშნავთ, რომ თუ $k > 1$, ე.ი. ერთ ბავშვზე მეტს აქვს შუბლი დასვრილი, მაშინ ყოველი ბავშვი ხედავს სულ ცოტა ერთ დასვრილ შუბლს და ამდენად, ბავშვებმა თავიდანვე იციან p . ამგვარად, შეიძლება ვიფიქროთ, რომ მამა არანაირ ახალ ინფორმაციას არ აწვდის ბავშვებს და, შესაბამისად, როცა $k > 1$, სულაც არ იყო საჭირო მათთვის p -ს თქმა. მაგრამ ეს არასწორია! ფაქტიურად, როგორც ახლა ვნახავთ, მამას რომ არ განეცხადებინა p , დასვრილი ბავშვები ვერასდროს შეძლებდნენ იმის გაგებას, რომ შუბლი დასვრილი ჰქონდათ.

გთავაზობთ დამტკიცების მონახაზს: q -ზე ინდუქციით ვამტკიცებთ, რომ იმის მიუხედავად, თუ როგორია სიტუაცია, ე.ი. იმის მიუხედავად, თუ რამდენ

LOGIC

ბავშვს აქვს დასვრილი შუბლი, ყველა ბავშვი პასუხობს „არას“ მამის პირველ q შეკითხვაზე. გასაგებია, რომ იმის მიუხედავად, თუ რომელ ბავშვებს აქვთ შუბლი დასვრილი, ყველა ბავშვი უპასუხებს „არას“ მამის პირველ შეკითხვას, რადგან ბავშვი ვერ განარჩევს ერთმანეთისგან სიტუაციას, სადაც მას დასვრილი ექნება შუბლი და სიტუაციას, რომელიც პირველი სიტუაციის სრულად იდენტური იქნება იმის გარდა, რომ მას შუბლი არ ექნება დასვრილი. ანალოგიურია ინდუქციური ნაბიჯიც: ინდუქციის ჰიპოთეზის თანახმად, ბავშვები პასუხობენ „არას“ მამის პირველ q შეკითხვაზე. ამდენად, როცა მამა ($q + 1$)-ედ დასვამს კითხვას, ბავშვი i კვლავაც ვერ განარჩევს ერთმანეთისგან სიტუაციას, სადაც მას დასვრილი ექნება შუბლი და სიტუაციას, რომელიც პირველი სიტუაციის სრულად იდენტური იქნება იმის გარდა, რომ მას შუბლი არ ექნება დასვრილი, რადგან ინდუქციის ჰიპოთეზის თანახმად, ბავშვები პასუხობენ „არას“ მამის პირველ q შეკითხვას იმის მიუხედავად, დასვრილი აქვს თუ არა i -ბავშვს შუბლი. ამიტომაც მას ისევე არ ეცოდინება, მისი საკუთარი შუბლი დასვრილია, თუ — არა.

ამდენად, როცა მამა აცხადებს რაღაც ისეთს, რაც უკვე ცნობილია ყველა ბავშვისთვის, ის როგორღაც ახერხებს მისცეს ბავშვებს სასარგებლო ინფორმაცია! როგორ შეიძლება ეს მოხდეს? რა არის მამის განცხადების ზუსტი ფუნქცია? რა თქმა უნდა, მამის განცხადება საშუალებას გვაძლევს ჩამოვაყალიბოთ ინდუქციის ბაზა, მაგრამ ეს ვერ ჩაითვლება მაინცდამაინც დამაკმაყოფილებელ პასუხად. ამით ვერ იხსნება, თუ რა ინფორმაციას იღებენ ბავშვები მამის განცხადების შედეგად.

ამ კითხვებს შეგვიძლია ვუპასუხოთ წინა ქვეთავში აღწერილი ერთობლივი ცოდნის ცნების გამოყენებით. განვიხილოთ უფრო დეტალურად ორი დასვრილი ბავშვის შემთხვევა. ეჭვს არ იწვევს, რომ ვიდრე მამა ლაპარაკს დაიწყებდეს, ყველამ იცის p . თუ შუბლი მარტო ელისს და ბობს აქვთ დასვრილი, მაშინ, ვიდრე მამა რამეს იტყოდეს, ელისი შესაძლებლად მიიჩნევს, რომ მას არ აქვს დასვრილი შუბლი, რა შემთხვევაშიც ბობი ვერავის ვერ დაინახავდა ტალახიანი შუბლით და ამდენად მას არ ეცოდინებოდა p . მას შემდეგ, რაც მამა გააკეთებს თავის განცხადებას, ელისმა უკვე იცის, რომ ბობმა იცის p . როცა ბობი პასუხობს „არას“ მამის პირველ შეკითხვას, ელისი იყენებს თავის ცოდნას იმის შესახებ, რომ ბობმა იცის p იმისთვის, რომ დაასკვნას, რომ მისი საკუთარი შუბლი დასვრილია. (შევნიშნავთ, რომ ბობმა რომ არ იცოდეს p , ის პირველ ჯერზე „არას“ იტყოდა იმ შემთხვევაშიც, ელისის შუბლი სუფთა რომ ყოფილიყო.)

ჩვენ ახლახან დავინახეთ, რომ თუ მარტო ორ ბავშვს ექნებოდა შუბლი დასვრილი, მაშინ ყველას არ ეცოდინებოდა, რომ ყველამ იცის p იქამდე, ვიდრე მამა რამეს იტყოდა. მაგრამ სამ ბავშვს რომ ჰქონოდა შუბლი დასვრილი, მაშინ ყველას ეცოდინებოდა, რომ ყველამ იცის p იქამდე, ვიდრე მამა რამეს იტყოდა. თუ ელისს, ბობსა და ჩარლის დასვრილი ექნებოდათ შუბლი, მაშინ ელისს ეცოდინებოდა, რომ ბობი დაინახავდა ჩარლის დასვრილ შუბლს, ბობს ეცოდინებოდა, რომ ჩარლი დაინახავდა ელისს დასვრილ შუბლს და ა.შ. მაგრამ ამ შემთხვევაში, ვიდრე მამა რამეს იტყოდა, ყველას არ ეცოდინებოდა, რომ ყველამ იცის, რომ ყველამ იცის p . ზოგადად, თუ აღვნიშნავთ $E^k p$ -თი იმ ფაქტს, რომ ყველამ იცის, რომ ყველამ იცის . . . (k -ჯერ) p და Cp -თი აღვნიშნავთ ერთობლივ ცოდნას, მაშინ მკითხველს თავად შეუძლია შეამომოს, რომ თუ ზუსტად k რაოდენობის ბავშვს აქვს შუბლი დასვრილი, მაშინ, ვიდრე მამა რამეს იტყოდეს, მართებულია $E^{k-1}p$, მაგრამ არა $E^k p$. როგორც აღმოჩნდა, თუ k რაოდენობის ბავშვს აქვს შუბლი დასვრილი, მაშინ $E^k p$ საკმარისი იქნება იმისთვის, რომ ბავშვებმა, ვისაც დასვრილი აქვს შუბლი, შეძლონ ამის გაგება, მაგრამ $E^{k-1}p$ ამისთვის არ იქნება საკმარისი. მამის განცხადება, ფაქტიურად, ბავშვების ცოდნის მდგომარეობას $E^{k-1}p$ -დან გარდაქმნის Cp -ად. ამ დამატებითი ცოდნის დახმარებით მათ უკვე შეუძლიათ გამოთვალონ, დასვრილი აქვთ თუ არა შუბლი.

დაკვირვებული მკითხველი შენიშნავდა, რომ ზემომოყვანილ მსჯელობაში თავსატეხის აღწერისას მოცემული დაშვების გარდა — რომ „ბავშვები არიან ადეკვატური, საზრიანი და გულწრფელი“ — ჩვენ არაერთი ფარული, იმპლიკაციური დაშვებაც გავაკეთეთ. კიდევ ერთხელ დავუშვათ, რომ შუბლი მხოლოდ ელისს და ბობს აქვთ დასვრილი. გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს იმას, რომ ორივემ, ელისმაც და ბობმაც, იცოდნენ, რომ ბავშვები არიან ადეკვატური, საზრიანი და გულწრფელი. მაგალითად, ელისმა რომ არ იცოდეს, რომ ბობი სიმართლეს ამბობს, როცა ის მეორე კითხვაზე „არას“ პასუხობს, მაშინ ელისი ვერ უპასუხებდა „დიახ“ მეორე შეკითხვას (თუნდაც ბობი სინამდვილეში მართალს ამბობდეს). ანალოგიურად, ბობმა უნდა იცოდეს, რომ ელისი სიმართლეს ამბობს. იმის გარდა, რომ ვიცით, რომ ყოველი ბავშვი არის საზრიანი, ადეკვატური და გულწრფელი, ჩვენ ასევე უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ყოველმა ბავშვმა იცის, რომ დანარჩენები ხედავენ, რომ ყოველ მათგანს ესმის მამის დასმული კითხვა, რომ მამა არ ტყუის და რომ ბავშვებს აქვთ ყველა იმ დასკვნის გაკეთების უნარი, რომელიც კი საჭიროა მამის კითხვაზე პასუხის გასაცემად.

LOGIC

ფაქტიურად, უფრო ძლიერი დაშვებებიც უნდა გაკეთდეს. თუ შუბლი დასვრილი აქვს k რაოდენობის ბავშვს, ყველამ უნდა იცოდეს, რომ ყველამ იცის . . . $((k - 1)$ -ჯერ), რომ ყველა ბავშვს აქვს სათანადო ატრიბუტები (არიანად ეკვატორი, საზრიანი, ყველას შეუძლია გაიგონოს მამის ნათქვამი და ა.შ.). მაგალითად, თუ სამ ბავშვს აქვს შუბლი დასვრილი და თუ ელისი შესაძლებლად მიიჩნევს, რომ ბოხს შესაძლებლად მიაჩნია, რომ ჩარლის შეიძლება ვერ გაეგონა მამის განცხადება, მაშინ ელისი ვერ შეიძლება მამის მესამე კითხვაზე გაეცა პასუხი „დიახ“ (თუნდაც ჩარლის სინამდვილეში გაეგონა მამის განცხადება და ბოხსაც ეს სცოდნოდა). ალბათ გონივრული იქნება, თუ დავუშვებთ, რომ ყველა ეს ატრიბუტი არის ერთობლივი ცოდნა და მართლაც, ყველას, ვისაც კი მოუსმენია ეს თავსატეხი, როგორც ჩანს, გაუკეთებია კიდეც ასეთი დაშვება.

მამასადამე, რომ შევაჯამოთ – როგორც ჩანს, მამის განცხადების ფუნქციის იყო, რომ მიეცა ბავშვებისთვის p -ის შესახებ ერთობლივი ცოდნა (ანუ იმ ფაქტის შესახებ, რომ სულ ცოტა ერთ ბავშვს დასვრილი ჰქონდა შუბლი), მაგრამ ბავშვების მიერ გამოტანილი დასკვნები გულისხმობს, რომ ჯგუფში უკვე არსებობდა საკმარის რაოდენობის ერთობლივი ცოდნა. როგორ ჩნდება ეს ერთობლივი ცოდნა? იმ შემთხვევაშიც კი, თუ უგულვებლყოფთ საკითხს, თუ როგორ გადაიქცევა ერთობლივ ცოდნად ისეთი ფაქტები, როგორებიცაა „ყველა ბავშვი ხედავს“ და „ყველა ბავშვი გულწრფელია“, მაინც გასარკვევი იქნება, თუ როგორ აქცევს p -ს ერთობლივ ცოდნად მამის განცხადება.

შეგვიშნავთ, რომ მთლად სწორი არ იქნება, თუ ვიტყვით, რომ p გადაიქცა ერთობლივ ცოდნად იმიტომ, რომ ბავშვებმა გაიგონეს მამის ნათქვამი. დავუშვათ, მამამ სათითაოდ გაიყვანა გვერდზე ყოველი ბავშვი (ისე, რომ სხვებს ვერ შეენიშნათ) და უთხრა: „სულ ცოტა ერთ ბავშვს დასვრილი აქვს შუბლი“. ბავშვები ალბათ გაიფიქრებდნენ, რომ ცოტა უცნაური იყო მისგან იმის მოსმენა, რაც მათ უკვე იცოდნენ. ადვილი დასანახია, რომ ასეთ შემთხვევაში p არ გადაიქცეოდა ერთობლივ ცოდნად.

ამ მაგალითის გაცნობის შემდეგ მავანმა შეიძლება იფიქროს, რომ ერთობლივი ცოდნა იმიტომ გაჩნდა, რომ ყველა ბავშვმა იცოდა, რომ მამის ნათქვამი ყველამ გაიგონა. მაგრამ ესეც კი არ არის საკმარისი. დავუშვათ, ბავშვები ერთმანეთს არ ენდობოდნენ, და ყოველმა მათგანმა ჩუმად მიამაგრა მინიატურული მიკროფონი

ყველა დანარჩენ ბავშვს. (ნარმოვიდგინოთ, რომ ბავშვებმა წინა ზაფხული CIA-ის სანროვნელ ბანაკში გაატარეს) მამას ისევე გაჰყავს გვერდზე თითოეული ბავშვი ცალ-ცალკე და ეუბნება: „სულ ცოტა ერთ თქვენგანს დასვრილი აქვს შუბლი“. ამ შემთხვევაში, დამალული მიკროფონების წყალობით, ყველა ბავშვს ეცოდინება, რომ ყოველმა მათგანმა გაიგონა მამის ნათქვამი, მაგრამ მათ ჯერ კიდევ არ ექნებათ ერთობლივი ცოდნა.

ცოტაოდენი ფიქრის შემდეგ მკითხველი ალბათ დარწმუნდება, რომ ერთობლივი ცოდნა ამ შემთხვევაში გაჩნდა მამის განცხადების საჯაროობის გამო. უხეშად რომ ვთქვათ, მამის მიერ p -ს საჯაროდ განცხადებამ ბავშვები განსაკუთრებულ სიტუაციაში ჩააყენა, კერძოდ, ისეთში, რომ ყველა ბავშვმა იცის ისიც, რომ p არის ჭეშმარიტი, და ისიც, რომ ისინი ამ სიტუაციაში არიან. ჩვენ ვუჩვენებთ, რომ ასეთ პირობებში p არის ერთობლივი ცოდნა. შევნიშნავთ, რომ ერთობლივი ცოდნა არ ჩნდება იმის გამო, რომ ბავშვები როგორცაც ახერხებენ თანმიმდევრულად გამოთვალონ $E^k p$ ფაქტები. (ეს რომ ასე ყოფილიყო, მაშინ ერთობლივი ცოდნის მიღწევას, სავარაუდოდ, უსასრულო დრო დასჭირდებოდა.) ერთობლივი ცოდნა ერთბაშად ჩნდება, როგორც იმის შედეგი, რომ ბავშვები ასეთ განსაკუთრებულ სიტუაციაში აღმოჩნდნენ. ამ საკითხს მომდევნო თავებში დავუბრუნდებით.

1.2 წიგნის მიმოხილვა

ზემომოყვანილ განხილვას უნდა დაერწმუნებინა მკითხველი, რომ ცოდნის შესახებ მსჯელობის ძნელად მოსახელთებელი ასპექტები ფრთხილ ფორმალურ ანალიზს მოითხოვს. მე-2 თავში გაგაცნობთ ცოდნის მარტივ, მაგრამ საკმაოდ ძლიერ ფორმალურ სემანტიკურ მოდელს, და ენას, რომლის საშუალებითაც ვიმსჯელებთ ცოდნის შესახებ. ამ მოდელს საფუძვლად უდევს შესაძლო სამყაროები. ინტუიციურად რომ ავხსნათ, თუ აგენტს არ აქვს სრულყოფილი ცოდნა სამყაროს შესახებ, ის შესაძლებლად მიიჩნევს სხვა სამყაროთა მთელ რიგს. ეს სამყაროები გამომხატავენ იმას, თუ როგორი შეიძლება იყოს მისი ვარაუდით რეალური სამყარო. ვიტყვი, რომ აგენტმა იცის φ ფაქტი, თუ φ -ს ადგილი აქვს ყველა იმ სამყაროში, რომელსაც კი აგენტი შესაძლებლად მიიჩნევს. ამ სემანტიკური მოდელის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს მახვილგონივრულად

LOGIC

განვმარტოთ დასვრილი ბავშვების თავსატეხის არაერთი ძნელად ასახსნელი მხარე. ასეთი ანალიზი გვიჩვენებს, თუ როგორ იცვლება ბავშვების ცოდნის მდგომარეობა მამის ყოველ დასმულ შეკითხვაზე პასუხის გაცემის შემდეგ და რატომ ხდება, რომ თუ დასვრილი ბავშვების საერთო რაოდენობა არის k , მხოლოდ k -ჯერ დასმული შეკითხვის შემდეგ შეძლებენ ბავშვები, რომლებსაც დასვრილი აქვთ შუბლი, ამ ფაქტის გამოთვლას.

აქ საგანგებოდ უნდა აღვნიშნოთ, რომ სრულიადაც არა გვეგონია, რომ შემდეგ თავში წარმოდგენილი სემანტიკური მოდელი ერთადერთი „სწორი“ მოდელია ცოდნისთვის. ჩვენ გარკვეული დრო დავუთმეთ ამ მოდელში ცოდნის თვისებების განხილვას. არაერთმა ფილოსოფოსმა წარმოადგინა დამაჯერებელი არგუმენტები იმის საჩვენებლად, რომ ზოგიერთი ამ თვისებათაგან „არასწორია“. მაგრამ ფილოსოფოსებისგან განსხვავებით, ამ ნიგნში ჩვენ უფრო პრაგმატულ მიზნებს ვისახავთ. ჩვენ არა გვეგონია, რომ არსებობს ცოდნის „სწორი“ მოდელი. გამოყენების სხვადასხვა სფეროს ცოდნის განსხვავებული ცნება მიესადაგება. მოდელი, რომელსაც შემდეგ თავში წარმოვადგენთ, გამოსადეგია დასვრილი ბავშვების თავსატეხის ანალიზისთვის და კიდევ მრავალი სხვა სფეროსთვის, თუმცა შეიძლება ყველა სფეროს არც მიესადაგებოდეს. ამ ნიგნის ერთ-ერთი მიზანია უჩვენოს მკითხველს, თუ როგორ იცვლება „ცოდნის“ თვისებები გამოყენების სფეროს ცვლილებასთან ერთად.

მე-3 თავში გთავაზობთ ცოდნის თვისებების სრულ აღწერას შესაძლო სამყაროთა მოდელში. წარმოვადგენთ ასეთი აღწერის ორ მიდგომას. პირველი არის *მტკიცებით-თეორიული*: ვუჩვენებთ, რომ ცოდნის ყველა თვისება შეიძლება ფორმალურად დამტკიცდეს მე-2 თავში განხილული თვისებების საფუძველზე. მეორე მიდგომა *ალგორითმულია*: ჩვენ შევისწავლით ალგორითმებს, რომლებსაც შეუძლიათ გაარკვიონ, მოცემული თვისება მართებულია თუ არა ჩვენ მიერ განსაზღვრული ცოდნისთვის და განვიხილავთ ამ პროცესის გამოთვლით სირთულეს.

ცოდნის ანალიზის გამოყენების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს სფეროდ მიგვაჩნია მულტიაგენტური სისტემები, იმისდა განურჩევლად, იქნება ეს ურთიერთმოქმედი აგენტების სისტემა თუ ქსელში კომპიუტერების სისტემა. მე-4 თავში ვუჩვენებთ, თუ როგორ შეგვიძლია გამოვიყენოთ ცოდნის სემანტიკური მოდელი იმისთვის, რომ *მივაწეროთ* ცოდნა აგენტებს მულტიაგენტურ

სისტემებში. ამ შემთხვევაში ვიყენებთ სიტყვა *მიწერას*, რადგან ცოდნის ის ცნება, რომელსაც მულტიაგენტური სისტემების კონტექსტში ვხვდებით, შეიძლება განვიხილოთ ცოდნის *გარეგან* ცნებად. აქ არ გვაქვს თავისი ცოდნის გამომთვლელი აგენტის ცნება და არც ის მოთხოვნა, რომ აგენტს შეეძლოს თავისი ცოდნის საფუძველზე შეკითხვებს უპასუხოს. შესაძლოა ეს ცოდნის უცნაურ განსაზღვრად მოგვეჩვენოს, მაგრამ ვეცდებით ვუჩვენოთ, რომ ეს შეესაბამება სიტყვა „ცოდნის“ ერთ-ერთ გავრცელებულ მნიშვნელობას. მეტიც, მოვიყვანთ მაგალითებს, რომლებიც მონმობენ მისი გამოყენების მიზანშეწონილობას მულტიაგენტური სისტემების ანალიზისას.

მე-5 თავში განვაგრძობთ მე-4 თავში ნამოდგენილ მოდელს და განვიხილავთ *ქმედებებს*, *პროტოკოლებს* და *პროგრამებს*. ეს საშუალებას მოგვცემს უფრო დეტალურად გავაანალიზოთ მდგომარეობების ცვლილება მულტიაგენტურ სისტემებში. ჩვენ ასევე განვსაზღვრავთ *სპეციფიკაციის* ცნებას და განვმარტავთ, თუ რას ნიშნავს პროტოკოლის ან პროგრამის მიერ სპეციფიკაციის დაკმაყოფილება.

მე-6 თავში ვუჩვენებთ, თუ რაოდენ მიზანშეწონილი შეიძლება იყოს სისტემების გაანალიზება ცოდნის საფუძველზე. ამ თავში მთავარი აქცენტი კეთდება ერთობლივ ცოდნაზე და სხვადასხვა კონტექსტებში მის განსაკუთრებულ მნიშვნელობაზე. კერძოდ, ვუჩვენებთ, რომ ის არის შეთანხმებისა და ერთდროული კოორდინირებული ქმედების წინაპირობა.

მე-7 თავში განვაგრძობთ პროგრამების ცნებას და განვიხილავთ ცოდნაზე დაფუძნებულ პროგრამებს, რომელიც გვაძლევს ცოდნის ექსპლიციტური ტესტირების საშუალებას. შეიძლება ითქვას, რომ ცოდნაზე დაფუძნებული პროგრამები გვაძლევენ მაღალი დონის ენას, რომელზეც ხორციელდება პროგრამირება ან სისტემის სპეციფიკაცია. გთავაზობთ არაერთ მაგალითს, რომელიც მონმობს ცოდნის დონეზე აზროვნებისა და პროგრამირების მიზანშეწონილობას.

მე-8 თავში განვიხილავთ ცოდნისა და დროის თვისებებს და მთავარი აქცენტი კეთდება დროის განმავლობაში ცოდნის განვითარების საკითხზე მულტიაგენტურ სისტემებში. ვუჩვენებთ, რომ მცირე ცვლილებები იმ დაშვებებში, რომლებიც უკავშირდება სისტემაში ცოდნისა და დროის ურთიერთქმედებას, ძნელად მოსახელთებელ, მაგრამ ძლიერ გავლენას ახდენს ცოდნის თვისებებზე.

LOGIC

როგორც მე-2 თავში ვუჩვენეთ, აგენტების ლოგიკური ყოვლისმცოდნეობა არის ერთ-ერთი ის თვისება, რომელიც, როგორც ჩანს, ცოდნის შესაძლო სამყაროთა მოდელის განუყოფელი ნაწილია. დასვრილი ბავშვების თავსატეხის შემთხვევაში ჩვენ ექსპლიციტურად დავუშვით, რომ ყოველ ბავშვს შეეძლო ყველა იმ დასკვნის გაკეთება, რომელიც საჭირო იყო თავსატეხის ამოსახსნელად. შესაძლოა, ეს თვისება გამართლებული იყოს გამოყენების ზოგიერთი სფეროსთვის, მაგრამ ზოგადი შემთხვევისთვის ის აშკარად არაგონივრულია. ბოლოს და ბოლოს, ჩვენ არ უნდა გვქონდეს იმის იმედი, რომ შევძლებთ ლოგიკურად ყოვლისმცოდნე რობოტების შექმნას. მე-9 თავში აღწერილია რამდენიმე მეთოდი ისეთი აბსტრაქტული მოდელების ასაგებად, რომლებსაც არ გააჩიათ ლოგიკური ყოვლისმცოდნეობის თვისება. როგორც უკვე ითქვა, ცოდნის ცნება მულტიაგენტური სისტემებისთვის ყველაზე უკეთ აღინერება როგორც გარეგანი ცოდნა, რომელიც აგენტებს მიენერება, ვთქვათ, სისტემის დიზაინერის მიერ. ჩვენ არავითარ შემთხვევაში არ ვგულისხმობთ, რომ აგენტებმა უნდა გამოთვალონ თავისი ცოდნა ან თავისი ცოდნის საფუძველზე აუცილებლად უნდა პასუხობდნენ შეკითხვებს. გამოყენების მთელ რიგ სფეროებში თავისი ცოდნის საფუძველზე აგენტებმა უნდა იმოქმედონ. ასეთ სფეროებში გარეგანი ცოდნა არ არის საკმარისი; აგენტს, რომელმაც უნდა იმოქმედოს თავისი ცოდნის საფუძველზე, ასევე უნდა შეეძლოს ამ ცოდნის გამოთვლა. ცოდნისა და გამოთვლის საკითხი განიხილება მე-10 თავში.

მე-11 თავში ვუბრუნდებით ერთობლივი ცოდნის პრობლემას. წინა ქვეთავში ვივარაუდეთ, რომ დასვრილი ბავშვების თავსატეხში ერთობლივი ცოდნა ჩნდება იმის გამო, რომ მამის განცხადება იყო საჯარო. არაერთ რეალურ სიტუაციაში შეუძლებელია საჯარო განცხადების გაკეთება ისე, რომ მისი შინაარსი ერთდროულად გააცნობიეროს მრავალმა აგენტმა. ჩვენ ვუჩვენებთ, რომ ასეთ შემთხვევებში ვერ გაჩნდება ერთობლივი ცოდნა მკაცრი გაგებით. ეს რამდენადმე პარადოქსულ მდგომარეობაში გვაყენებს, რადგან ვაცხადებთ, რომ ერთობლივი ცოდნა არის შეთანხმების და კოორდინირებული მოქმედების წინაპირობა და, ამავე დროს, ის ვერ მიიღწევა. ამ პარადოქსს განვიხილავთ მე-11 თავში და მკითხველს შევთავაზებთ ამ ცნების შესუსტებულ ვარიანტებს, რომელთა მიღწევაც პრაქტიკულად შესაძლებელია და რომელიც ხშირად საკმარისიცაა რეალურ სამყაროში სამოქმედოდ.

სავარჯიშოები

1.1 ტუზები და რვიანები მარტივი თამაშია, მაგრამ მოითხოვს მახვილგონივრული დასკვნების გაკეთებას ცოდნის შესახებ. მას თამაშობენ ბანქოს დასტით, რომელიც შედგება მხოლოდ ოთხი ტუზისგან და ოთხი რვიანისგან. მოთამაშე სამია. რიგდება ექვსი ბანქო, ორ-ორი ყოველი მოთამაშისთვის. დარჩენილი ორი ბანქო რჩება მაგიდაზე პირით ქვემოთ (ისე, რომ არ ჩანდეს მისი რაგვარობა). ისე, რომ არ შეხედავენ თავის ბანქოს, მოთამაშეები მას ასწევენ შუბლისკენ და უჩვენებენ დანარჩენ მოთამაშეებს. ამის შემდეგ მოთამაშეები რიგ-რიგობით ცდილობენ გაარკვიონ, რომელი ბანქო უჭირავთ ხელში (ბანქოს ფიგურის განსაზღვრა არ მოეთხოვებათ). თუ მოთამაშემ არ იცის, რომელი ბანქო უჭირავს, მან ასეც უნდა თქვას. დაფუშვით, ამ თამაშს თამაშობთ ელისი, ბობი და თქვენ. გასაგებია, რომ ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ არც ერთი თქვენგანი არ იტყვის ტყუილს და ყველა მოთამაშეს აქვს სრულყოფილი დასკვნების გაკეთების უნარი.

- (a) პირველ თამაშში ელისს, რომელიც პირველი თამაშობს, უჭირავს ორი ტუზი და ბობს, რომელიც მეორე თამაშობს, უჭირავს ორი რვიანი. ორივე, ელისიც და ბობიც, ამბობს, რომ მათარ შეუძლიათ განსაზღვრონ, რომელი ბანქო უჭირავთ. რა ბანქოები გაქვთ თქვენ? (მინიშნება: განიხილეთ, რა მოხდებოდა, თქვენ რომ ხელში გჭეროდით ორი ტუზი ან ორი რვიანი.)
- (b) მეორე თამაშში თამაშს თქვენ იწყებთ. ელისს, რომელიც თქვენ შემდეგ თამაშობს, აქვს ორი რვიანი. ბობს, რომელიც მესამეა, ხელში უჭირავს ტუზი და რვიანი. თავის პირველ სვლაზე ვერც ერთი ვერ ამბობს, რომელი ბანქო უჭირავს ხელში. რა ბანქო გაქვთ თქვენ? (მინიშნება: (a) ნაწილის გამოყენებით განიხილეთ, რა მოხდებოდა, თქვენ რომ ხელში ორი ტუზი გჭეროდით.)
- (c) მესამე თამაშში თქვენ მეორე ნომრად თამაშობთ. ელისს, რომელიც თამაშობს პირველი, უჭირავს ტუზი და რვიანი. ბობს, რომელიც მესამე თამაშობს, აქვს ასევე ტუზი და რვიანი. ვერავინ ვერ იგებს თავისი პირველი სვლის დროს, თუ თავად რომელი ბანქო უჭირავს. ელისი ვერც თავისი მეორე სვლის დროს იგებს, თუ რა ბანქო უჭირავს თავად. რა ბანქო გაქვთ თქვენ?

LOGIC

***1.2** უჩვენეთ, რომ 1.1 სავარჯიშოს ტუზებისა და რვიანების თამაშში ვილაც ყოველთვის შეძლებს იმის განსაზღვრას, თუ რა ბანქო უჭირავს. უჩვენეთ ასევე, რომ არსებობს ისეთი სიტუაცია, როცა მხოლოდ ერთი მოთამაშე შეძლებს იმის გარკვევას, რა ბანქო უჭირავს, ხოლო ორი დანარჩენი მოთამაშე, იმისდა მიუხედავად, თუ რამდენი რაუნდი გაგრძელდება თამაში, ვერასდროს ვერ გაიგებს, რომელი ბანქო უჭირავს ხელში.

1.3 ბრძენკაცების თავსატეხი არის დასვრილი ბავშვების თავსატეხის კარგად ცნობილი ვარიანტი. გამოცანის სტანდარტული ვერსია ასეთია: მეფეს ეახლა სამი ბრძენი. ერთობლივი ცოდნაა, რომ სულ არის სამი წითელი და ორი თეთრი ქუდი. მეფე თითოეულ ბრძენს დაახურავს ქუდს და ეკითხება (რიგ-რიგობით), იციან თუ არა რა ფერის ქუდი ახურავთ. პირველი ბრძენი პასუხობს, რომ მან არ იცის; მეორეც პასუხობს, რომ არც მან იცის; ამის შემდეგ მესამე ბრძენი ამბობს, რომ მან იცის.

(a) რა ფერის ქუდი ახურავს მესამე ბრძენს?

(b) ამ თავსატეხში ჩვენ გვქონდა ფარული დაშვება იმის შესახებ, რომ სამივე ბრძენი ხედავს. ვთქვათ, დავუშვიტ, რომ მესამე ბრძენი ბრმაა და ერთობლივი ცოდნაა, რომ პირველი ორი ბრძენი ხედავს. შეუძლია მესამე ბრძენს მაინც გამოთვალოს, რა ფერისაა თავად მისი ქუდი?

შენიშვნები

პირველად ცოდნის შესახებ აზროვნების ფორმალური ლოგიკური ანალიზის იდეა, როგორც ჩანს, წარმოაჩინა **ფონ ვრიგთმა** [von Wright 1951]. როგორც უკვე აღვნიშნეთ ტექსტში, **ჰინტიკამ** [Hintikka 1962] პირველმა გამოიკვლია ეპისტემური ლოგიკა მონოგრაფიულად. **ლენცენი** [Lenzen 1978] მიმოიხილავს 1960-იან და 1970-იან წლებში ეპისტემურ ლოგიკაში ჩატარებულ კვლევებს. მას მოჰყავს არგუმენტები ცოდნის რიგი აქსიომების სასარგებლოდ და რიგი აქსიომების წინააღმდეგ. ამ არგუმენტებიდან ყველაზე ცნობილი ეკუთვნის **გეტიეს** [Gettier 1963], რომელიც ეწინააღმდეგებოდა ცოდნის, როგორც ქემპარიტი, დასაბუთებული რწმენის, კლასიკურ ინტერპრეტაციას; მისი ნაშრომი შთამაგონებელი აღმოჩნდა სხვათათვის. **გეტიეს** არგუმენტები და ზოგიერთი

შემდგომი შრომა დეტალურად არის განხილული **ლენცენის** მიერ [Lenzen 1978]. ამ საგნის უახლესი განხილვა იხილეთ შემდეგ ნაშრომებში: [Halpern 1986, 1987, 1995], [Meyer, van der Hoek, and Vreeswijk 1991a, 1991b], [Moses 1992] და [Parikh 1990].

როგორც უკვე ვახსენეთ, პირველად ერთობლივ ცოდნაზე კვლევა განხორციელებულ იქნა **ლუისის** [Lewis 1969] მიერ კონვენციების შესწავლის კონტექსტში. თუმცა **მაკკარტის** აღქმა იმისა რაც „ყველა სულელმა იცის“, ჯერ კიდევ 1970-იან წლებში გვხვდება. პირველად ეს ტერმინი გამოჩნდა სტატიაში [McCarthy, Sato, Hayashi, and Igarishi 1979]. **აუმანის** [Aumann 1976] საეტაპო ნაშრომის შემდეგ ცოდნისა და ერთობლივი ცოდნის ცნებები ასევე დიდ ინტერესს იწვევდა ეკონომისტებსა და თამაშის თეორიის სპეციალისტებს შორის. პირველად მულტიაგენტურ სისტემებში ცოდნისა და ერთობლივი ცოდნის ცნებები გამოყენებულ იქნა **ჰალპერნისა და მოსესის** [Halpern and Moses 1990] და ასევე **ლემანის** [Lehmann 1984] მიერ. **კლარკისა და მარშალის** [Clark and Marshall 1981] მიერ განხილულია ერთობლივი ცოდნის გამოყენების საჭიროება, რათა გავიგოთ ისეთი წინადადება, როგორცაა „რას ფიქრობ კონკრეტულ ფილმზე?“. **პეროსა და კოენის** [Perrault and Cohen 1981] მიერ შემოთავაზებულია განსხვავებული ხედვა ამ ცნებებზე. **კლარკი და მარშალი** ასევე აღწერენ იტერირებული ცოდნის უოთერგეითის სკანდალზე დაფუძნებულ მაგალითს, სადაც ახსენებენ დინს და ნიქსონს. დისტრიბუციული ცოდნის ცნება შემოღებულ იქნა **ჰალპერნისა და მოსესის** მიერ [Halpern and Moses 1990]. თავდაპირველად მათ ეს ცნება შემოიღეს როგორც **იმპლიციტური ცოდნა**, ხოლო შემდგომ **იან პაჩის** [Jan Pacht] მიერ შემოთავაზებულ იქნა ტერმინი „დისტრიბუციული ცოდნა“.

დასვრილი ბავშვების თავსატეხი „მოლალატე ცოლების“ თავსატეხის ერთ-ერთი ვარიანტია, რომელიც განხილულ იყო **გამოვისა და შტერნის** მიერ [Gamov and Stern 1958]. **გარდნერი** [Gardner 1984] ასევე გვთავაზობს ამ თავსატეხის სხვა ვარიანტს; ამავე თავსატეხის სხვადასხვა ვარიანტი განხილულია **მოსესის, დოლევისა და ჰალპერნის** მიერ [Moses, Dolev and Halpern 1986]. ამ წიგნში მოყვანილი ვერსია თითქმის უცვლელად გადმოტანილია ბარვაიზის ნაშრომიდან [Barwise 1981]. ტუზებისა და რვიანების გამოცანა 1.1 სავარჯიშოდან აღებულია **კარვერის** ნაშრომიდან [Carver 1989]. მეორე მსგავსი გამოცანა არის ე.წ. „კონვეის პარადოქსი“, რომელიც პირველად განხილული იყო **კონვეის, პეტერსონისა და მოსკოუს** მიერ [Conway, Paterson and Moscow 1977], შემდგომში კი **გარდნერის** მიერ [Gardner 1977].

LOGIC

ეპისტემურ ქრილში ეს თავსატეხი გააანალიზეს **ემდე ბოასმა, გრონენდაიკმა და სტოქოფმა** [Emde Boas, Groenendijk and Stokhof 1980]. ამ გამოცანის გაფართოებული ვერსია განხილულია პარიკის მიერ [Parikh 1992].

ამა თუ იმ საკითხზე დამატებითი ლიტერატურისათვის იხილეთ შემდგომი თავების ბიბლიოგრაფიული შენიშვნები.

თავი 2 ცოდნის მოდელი

ჯუან-დი და ჰუან-დი მისეირნობდნენ ჰაოზე გამავალ ხიდზე, როცა ჯუან-დიმ უთხრა თანამგზავს: „შეხედე, როგორ დასრიალებენ წყალში პატარა თევზები! აი, ეს არის თევზების ბედნიერება.“ „შენ თავად ხომ არ ხარ თევზი,“ უპასუხა ჰუან-დომ, „საიდან უნდა იცოდე, რა არის თევზისთვის ბედნიერება?“ „არცშენ ხარ ჯუან-დი“, მიუგო ჯუან-დომ, „მაშ, საიდან უნდა იცოდე, რომ არ ვიცი?“

ჯუან-დი, დაახ. 300 წ. ძვ. წ.

2.1 შესაძლო სამყაროთა მოდელი

როგორც უკვე აღვნიშნეთ პირველ თავში, ცოდნის მოდელირების ჩვენი სქემა ემყარება შესაძლო სამყაროებს. შესაძლო სამყაროთა მოდელს საფუძვლად უდევს ინტუიციური იდეა იმის თაობაზე, რომ რეალური ვითარების გარდა არსებობს ბევრი სხვა შესაძლო ვითარება, ანუ „სამყარო“. აგენტმა მის ხელთ არსებული ინფორმაციის მიხედვით შეიძლება ვერც განსაზღვროს, მრავალ შესაძლო სამყაროთაგან რომლის საფუძველზე უნდა აღწეროს არსებული

ვითარება. ამგვარად, ვიტყვით, რომ აგენტმა იცის Φ ფაქტის შესახებ, თუ Φ ჭეშმარიტია ყველა იმ სამყაროში, რომელსაც ის შესაძლებლად მიიჩნევს (მის ხელთ არსებული ინფორმაციის საფუძველზე). მაგალითად, აგენტი 1 შეიძლება მზიან დღეს მიუყვებოდეს სან-ფრანცისკოს ქუჩას და არანაირი ინფორმაცია არ ჰქონდეს ლონდონში არსებული ამინდის შესახებ. ამდენად, ყველა იმ სამყაროში, რომელსაც ეს აგენტი შესაძლებლად მიიჩნევს, სან-ფრანცისკოში მზიანი დღეა. (აქ იგულისხმება, რომ აგენტი არ უშვებს იმის შესაძლებლობას, რომ მას ეს ყველაფერი ეჩვენება და სინამდვილეში სან-ფრანცისკოში თავსხმა წვიმაა.) მეორე მხრივ, რადგან აგენტს არ აქვს არანაირი ინფორმაცია ლონდონის ამინდის შესახებ, არსებობს ისეთი სამყაროები, რომლებსაც აგენტი შესაძლებლად მიიჩნევს და რომლებშიც ლონდონში მზიანი ამინდია და სხვა სამყაროები, რომლებშიც ლონდონში წვიმს. ამდენად, აგენტმა იცის, რომ სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია, მაგრამ არ იცის, მზიანი ამინდია თუ არა ლონდონში. ინტუიციურად, რაც უფრო მცირე რაოდენობის სამყაროებს მიიჩნევს აგენტი შესაძლებლად, მით უფრო მცირეა მისთვის გაურკვეველობა და მით უფრო მეტი იცის. თუ აგენტი მიიღებს დამატებით ინფორმაციას — მაგალითად, სანდო წყაროსგან შეიტყობს, რომ ამჟამად ლონდონში მზიანი ამინდია — მაშინ ის აღარ განიხილავს შესაძლებლად არც ერთ იმ სამყაროს, სადაც ლონდონში წვიმს.

პოკერის შემთხვევაში შესაძლო სამყაროები კონკრეტული ინტერპრეტაციას იძენს: ის უბრალოდ არის მოთამაშეთა შორის ბანქოს განაწილების ყველა შესაძლო სქემა. თავდაპირველად მოთამაშე შესაძლებლად მიიჩნევს ბანქოს ყველა იმ განაწილებას, რომელიც არ ეწინააღმდეგება მის ხელთ არსებულ ბანქოს. თამაშის მსვლელობისას მოთამაშეებს შეუძლიათ მიიღონ დამატებითი ინფორმაცია, რაც მათ საშუალებას მისცემს გამორიცხონ ზოგიერთი ის სამყარო, რომელსაც იქამდე შესაძლებლად მიიჩნევდნენ. ელისმა თავიდან რომ არც იცოდეს, რომ ბობს ხელთ აქვს ყვავის ტუზი, რაღაც მომენტში ელისმა შეიძლება ეს გაიგოს, თუ მიღებული დამატებითი ინფორმაცია საშუალებას მისცემს მას გამორიცხოს ყველა ის სამყარო (ბანქოს განაწილებები მოთამაშეთა შორის), სადაც ბობს არ აქვს ყვავის ტუზი.

კიდევ ერთი მაგალითია დასვრილი ბავშვების თავსატეხი, რომელიც წინა თავში განვიხილეთ. დავუშვათ, ელისი ხედავს, რომ ბობს და ჩარლის დასვრილი აქვთ შუბლი, სხვა ბავშვებს კი — არა. ეს მას საშუალებას აძლევს გამორიცხოს

LOGIC

ყველა სამყარო ორის გარდა: დარჩება ერთი, რომელშიც მას, ბობსა და ჩარლის აქვთ დასვრილი შუბლი (და სხვას არავის); და მეორე, რომელშიც ბავშვებიდან მხოლოდ ბობსა და ჩარლის აქვთ შუბლი დასვრილი. ყველა (ე.ი. ორივე) სამყაროში, რომელსაც კი ელისი შესაძლებლად მიიჩნევს, ბობსა და ჩარლის დასვრილი აქვთ შუბლი და ყველა ბავშვს ბობის, ჩარლისა და მის გარდა შუბლი სუფთა აქვთ. ელისის გაურკვეველობა მხოლოდ მისსავე შუბლს ეხება; ამ გაურკვეველობას იმ სამყაროთა სიმრავლე ასახავს, რომელსაც ელისი შესაძლებლად მიიჩნევს. როგორც ვნახავთ 2.4 ქვეთავში, მას შემდეგ, რაც ელისი მოისმენს ამ ბავშვების პასუხებს მამის პირველ ორ შეკითხვაზე, ის შეძლებს ამ ორი სამყაროდან ერთ-ერთი გამორიცხოს და გაარკვიოს, აქვს თუ არა თავად მას შუბლი დასვრილი.

ამ მსჯელობას რომ უფრო ზუსტი ფორმა მივცეთ, ჩვენ დაგვჭირდება ენა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს უშუალოდ გამოვხატოთ ცოდნასთან დაკავშირებული ცნებები. როგორც უკვე ვნახეთ, ბუნებრივი ენა არ იძლევა ცოდნის შესახებ რთული მსჯელობის ზუსტი გამოხატვის საშუალებას. ამის ნაცვლად *მოდალური ლოგიკის* ენას გამოვიყენებთ.

ვთქვათ, გვყავს ჯგუფი, რომელიც შედგება n რაოდენობის აგენტისგან, რომლებსაც პირობითად აღვნიშნავთ $1, \dots, n$. სიმარტივისთვის დავუშვათ, რომ ამ აგენტების მსჯელობა სამყაროს შესახებ შეიძლება აღინეროს მარტივი დებულებების არაწარიელი Φ სიმრავლის საშუალებით, რომლებსაც ჩვეულებრივ ასე აღვნიშნავთ: p, p', q, q', \dots ეს მარტივი დებულებები შეესაბამებიან ბაზისურ ფაქტებს სამყაროს შესახებ, მაგალითად, „სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია“ ან „ელისს დასვრილი აქვს შუბლი“. იმისთვის, რომ გამოვხატოთ ისეთი წინადადება, როგორიცაა „ბობმა იცის, რომ სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია“, ამ ენას დავამატებთ *მოდალურ ოპერატორებს* K_1, \dots, K_n (თითოს ყოველი აგენტისთვის). მაშინ ფორმულა $K_1\Phi$ ნიშნავს „აგენტ 1-მა იცის Φ “.

ტექნიკური თვალსაზრისით ენა მხოლოდ ფორმულების სიმრავლეა. ახლა შეგვიძლია აღვწეროთ ჩვენთვის საინტერესო ფორმულები. დავიწყებთ Φ -ში შემავალი მარტივი დებულებებით და ავაგებთ უფრო რთულ ფორმულებს უარყოფით, კონიუნქციითა და K_1, \dots, K_n მოდალური ოპერატორების მიმართ სიმრავლის ჩაკეტვის გზით. ამრიგად, თუ ϕ და ψ ფორმულებია, მაშინ ასევე ფორმულებია $\neg\phi$, $(\phi \wedge \psi)$ და $K_i\phi$ სადაც $i = 1, \dots, n$. ნაკითხვის გასაადვილებლად

გამოვტოვებთ ფრჩხილებს ისეთ ფორმულებში, როგორცაა $(\phi \wedge \psi)$, სადაც კი ეს ორაზროვნებას არ გამოიწვევს. ასევე გამოვიყენებთ წინადადებათა ლოგიკის სტანდარტულ შემოკლებებს, მაგალითად, დავწეროთ $\phi \vee \psi$ -ს $\neg(\neg\phi \wedge \neg\psi)$ -ის ნაცვლად, $\phi \Rightarrow \psi$ -ს $\neg\phi \vee \psi$ -ის მაგივრად და $\phi \Leftrightarrow \psi$ -ს $(\phi \Rightarrow \psi) \wedge (\psi \Rightarrow \phi)$ -ის ნაცვლად. ჭეშმარიტს განვიხილავთ როგორც შემოკლებას რალაც ფიქსირებული ტავტოლოგიისთვის, მაგალითად, $p \vee \neg p$ -სთვის, ხოლო მცდარს — როგორც შემოკლებას \neg ჭეშმარიტი-სთვის.

ამ ენის გამოყენებით შეგვიძლია უშუალოდ გამოვხატოთ საკმაოდ რთული გამონათქვამები. მაგალითად, ფორმულა

$$K_1 K_2 p \wedge \neg K_2 K_1 K_2 p$$

გამოხატავს წინადადებას „აგენტ 1-მა იცის, რომ აგენტ 2-მა იცის p , მაგრამ აგენტ 2-მა არ იცის, რომ აგენტ 1-მა იცის, რომ აგენტ 2-მა იცის p “.

შესაძლებლობას ჩვენ ცოდნის ორადფულად განვიხილავთ. ამრიგად, აგენტი 1 თვლის, რომ შესაძლებელია ϕ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა მან არ იცის $\neg\phi$. ეს სიტუაცია შეიძლება აღინეროს ფორმულით $\neg K_1 \neg\phi$. წინადადება „დინმა არ იცის, ხდება თუ არა ϕ “ გვეუბნება, რომ დინი ორივეს — ϕ -საც და $\neg\phi$ -საც შესაძლებლად განიხილავს. ავიღოთ წინა თავში ნახსენები წინადადება: „დინმა არ იცის, იცის თუ არა ნიქსონმა, რომ დინმა იცის, რომ ნიქსონმა იცის, რომ მაკკორდმა უკანონოდ შეაღწია ობრაინის ოფისში უოთერგეითში“. თუ დინს ჩავთვლით აგენტ 1-ად, ნიქსონს — აგენტ 2-ად და p -ს წინადადებად „მაკკორდმა უკანონოდ შეაღწია ობრაინის ოფისში უოთერგეითში“, მაშინ ეს ფრაზა ასეთ ფორმას მიიღებს:

$$\neg K_1 \neg (K_2 K_1 K_2 p) \wedge \neg K_1 \neg (\neg K_2 K_1 K_2 p).$$

მას შემდეგ, რაც აღვწერეთ ჩვენი ენის სინტაქსი (ე.ი. დასაშვები ფორმულების სიმრავლე), ჩვენ გვჭირდება სემანტიკა, ანუ ფორმალური მოდელი, რომლის გამოყენებითაც გავარკვევთ, მოცემული ფორმულა ჭეშმარიტია თუ მცდარი. სემანტიკის განსაზღვრის ერთ-ერთი მიდგომა, როგორც აღვნიშნეთ, არის შესაძლო სამყაროები, რომლის ფორმალიზებასაც ვახდენთ (კრიპკეს) სტრუქტურების საშუალებით. (მომდევნო თავებში განვიხილავთ ფორმულებისთვის სემანტიკის მინიჭების სხვა მეთოდებსაც.) Φ -ზე განსაზღვრული M კრიპკეს სტრუქტურა n რაოდენობის აგენტისთვის არის კომპლექსი $(S, \pi, K_1, \dots, K_n)$, სადაც S არის

LOGIC

მდგომარეობების ან შესაძლო სამყაროების სიმრავლე, π არის ინტერპრეტაცია, რომელიც S -ის ყოველი მდგომარეობისთვის განსაზღვრავს Φ -ის ყოველი მარტივი დებულების ჭეშმარიტულ მნიშვნელობას (ე.ი. $\pi(s) : \Phi$ {ჭეშმარიტი, მცდარი} ყოველი $s \in S$ მდგომარეობისთვის) და K , არის S -ზე განსაზღვრული ბინარული მიმართება, ანუ S -ის ელემენტების წყვილები. მოცემულ წიგნში მონაცვლეობით ვიყენებთ ტერმინებს „მდგომარეობას“ და „სამყაროს“.

ჭეშმარიტული მნიშვნელობის მიწერის ფუნქცია $\pi(s)$ განსაზღვრავს მდგომარეობა s -ში p ჭეშმარიტია თუ მცდარი. ამგვარად, თუ p აღნიშნავს ფაქტს „სან-ფრანცისკოში წვიმს“, მაშინ $\pi(s)(p) =$ **ჭეშმარიტი** აღწერს სიტუაციას, როცა M სტრუქტურის s მდგომარეობაში სან-ფრანცისკოში წვიმს. ბინარული მიმართება K ასახავს შესაძლებლობას აგენტ i -ის თვალსაზრისით: $(s, t) \in K$, თუ აგენტი i სამყარო s -ში, მის ხელთ არსებული ინფორმაციის გათვალისწინებით, შესაძლებლად მიიჩნევს სამყარო t -ს. K -ს ჩვენ განვიხილავთ შესაძლებლობის მიმართებად, რამდენადაც ის განსაზღვრავს, თუ ნებისმიერ მოცემულ სამყაროში რომელ სამყაროს მიიჩნევს შესაძლებლად აგენტი i . ამასთან, ამ წიგნის უმეტეს ნაწილში (კერძოდ, ამ თავშიც) ვიგულისხმებთ, რომ K არის S -ზე განსაზღვრული ეკვივალენტობის მიმართება. S -ზე განსაზღვრული ეკვივალენტობის მიმართება K ბინარული მიმართებაა, რომელიც არის (a) რეფლექსური, რაც იმას ნიშნავს, რომ ყველა $s \in S$ -სთვის $(s, s) \in K$, (b) სიმეტრიული, რაც ნიშნავს, რომ ყველა $(s, t) \in S$ -სთვის $(s, t) \in K$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(t, s) \in K$ და (c) ტრანზიტული, ე.ი. ყველა $s, t, u \in S$ —სთვის თუ $(s, t) \in K$ და $(t, u) \in K$, მაშინ $(s, u) \in K$. K -ის განსაზღვრავთ როგორც ეკვივალენტობის მიმართებას, რადგან გვინდა ავსახოთ ის ინტუიციური რეალობა, რომ აგენტი i სამყარო s -ში მიიჩნევს t -ს შესაძლებლად, თუ აგენტ i -ს ორივე ამ სამყაროში (s -სა და t -ში) ერთი და იგივე ინფორმაცია აქვს სამყაროს შესახებ, ე.ი. აგენტი არ განარჩევს ამ ორ სამყაროს. სავსებით ბუნებრივია K -ის განსაზღვრა როგორც ეკვივალენტობის მიმართებისა და ეს სრულად შეესაბამება გამოყენების არაერთ სფეროს. მაგალითად, როგორც ამას შემდეგ ქვეთავში ვნახავთ, ის გამოდგება დასვრილი ბავშვების თავსატეხის ანალიზისთვის, ხოლო მე-4 და მე-6 თავებში ვუჩვენებთ, რომ ის ასევე ადეკვატურია არაერთი მულტიაგენტური სისტემისთვისაც. მაგრამ ასეთივე წარმატებით შეგვიძლო შესაძლებლობის მიმართებებისთვის მიგვენიჭებინა სხვა თვისებებიც (მაგალითად, რეფლექსურობა და ტრანზიტულობა, მაგრამ არა — სიმეტრიულობა), როგორც ამას გავაკეთებთ მე-3 თავში.

ახლა განვსაზღვრავთ, თუ რას ნიშნავს, როცა ფორმულა არის ჭეშმარიტი მოცემულ სამყაროში და მოცემულ სტრუქტურაში. სრულიად შესაძლებელია, ფორმულა იყოს ჭეშმარიტი ერთ სამყაროში და მცდარი მეორეში. მაგალითად, ერთ რომელიმე სამყაროში აგენტ 1-მა შეიძლება იცოდეს, რომ სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია, სხვა სამყაროში კი — არა. ამ გარემოების ასახვისთვის ჩვენ განვსაზღვრავთ ცნებას $(M, s) \models \phi$, რომელიც შეიძლება ასე წავიკითხოთ: „ ϕ ჭეშმარიტია (M, s) -ში“, „ ϕ სრულდება (M, s) -ში“ ან „ (M, s) აკმაყოფილებს ϕ -ს“. \models მიმართებას განვსაზღვრავთ ინდუქციით ϕ -ის სტრუქტურაზე, ანუ ვინყებთ უმარტივესი ფორმულებით — მარტივი დებულებებით — და თანმიმდევრულად გადავდივართ უფრო რთულ ϕ ფორმულებზე იმის გათვალისწინებით, რომ \models უკვე განსაზღვრულია ϕ -ის ყველა ქვეფორმულისთვის.

სტრუქტურის π კომპონენტი გვაძლევს იმ ინფორმაციას, რომელიც საჭიროა საბაზისო შემთხვევისთვის, სადაც ϕ არის მარტივი დებულება:

$(M, s) \models p$ (სადაც $p \in \Phi$ მარტივი დებულებაა) მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $\pi(s)(p) = \text{ჭეშმარიტს}$.

კონიუნქციებისა და უარყოფების შემთხვევაში ჩვენ ვიცავთ წინადადებათა ლოგიკის სტანდარტულ მიდგომას; კონიუნქცია $\psi \wedge \psi'$ ჭეშმარიტია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა ჭეშმარიტია ორივე კონიუნქტი ψ და ψ' , ხოლო უარყოფის შემცველი ფორმულა $\neg\psi$ ჭეშმარიტია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა ψ არ არის ჭეშმარიტი:

$(M, s) \models \psi \wedge \psi'$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, s) \models \psi$ და $(M, s) \models \psi'$

$(M, s) \models \neg\psi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, s) \not\models \psi$.

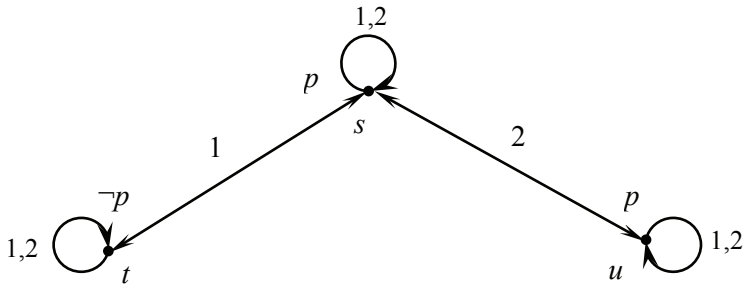
მიაქციეთ ყურადღება იმ გარემოებას, რომ უარყოფის განმსაზღვრელი პუნქტის თანახმად ეს ლოგიკა ორფასაა. ყოველი ψ ფორმულისათვის გვაქვს $(M, s) \models \psi$ ან $(M, s) \models \neg\psi$, მაგრამ არა ორივე ერთად.

დაბოლოს, უნდა განვიხილოთ $K\psi$ ტიპის ფორმულები. ამ შემთხვევაში ჩვენ ვცდილობთ იმ ინტუიციის ასახვას, რომ M სტრუქტურის s სამყაროში აგენტ i -მ იცის ψ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა ψ ჭეშმარიტია ყველა იმ სამყაროში, რომელსაც i მიიჩნევს შესაძლებლად s სამყაროში. ფორმალურად ეს ასე გამოიხატება:

LOGIC

$(M, s) \models K_i \psi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, t) \models \psi$ ყველა ისეთი t -სთვის, რომლისთვისაც $(s, t) \in K_i$.

ამ განსაზღვრებების საილუსტრაციოდ მარტივ მაგალითს მოვიყვანთ. კრიპკეს სტრუქტურის ერთ-ერთი უპირატესობა ისაა, რომ ის შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს მარკირებული გრაფის ფორმით, ანუ როგორც მარკირებულ წვეროთა სიმრავლე, რომლებიც ერთმანეთს მარკირებული, მიმართული წიბოებით უკავშირდებიან. წვეროები ასახავენ S -ის მდგომარეობებს; $s \in S$ მდგომარეობის მარკირება გვამცნობს, თუ s -ში რომელი მარტივი დებულებები არიან ჭეშმარიტნი და რომელი — მცდარნი. წიბოების მარკირებას ვახდენთ აგენტების სიმრავლეებით; s -იდან t -სკენ მიმართული წიბოს მარკირება შეიცავს i -ის, თუ $(s, t) \in K_i$. მაგალითად, დავუშვათ, $\Phi = \{p\}$ და $n = 2$, შესაბამისად, ჩვენი ენა შეიცავს ერთ პრიმიტიულ გამონათქვამ p -ს და აგენტთა რაოდენობა არის 2. დავუშვათ ასევე, რომ $M = (S, \pi, K_1, K_2)$, სადაც $S = \{s, t, u\}$; p ჭეშმარიტია s და u მდგომარეობებში და მცდარია t -ში (ასე რომ $\pi(s)(p) = \pi(u)(p) = \text{ჭეშმარიტს}$ და $\pi(t)(p) = \text{მცდარს}$), აგენტი 1 ვერ არჩევს s -ს t -სგან (ასე რომ $K_1 = \{(s, s), (s, t), (t, s), (t, t), (u, u)\}$), ხოლო აგენტი 2 ვერ არჩევს s -ს u -სგან (ასე რომ $K_2 = \{(s, s), (s, u), (t, t), (u, s), (u, u)\}$). ეს სიტუაცია შეიძლება აღინეროს 2.1 ნახაზზე მოცემული გრაფით. ყურადღება მიაქციეთ, როგორ ასახავს ეს გრაფი ჩვენს დაშვებებს K_i მიმართებების შესახებ. კერძოდ, ყოველი წიბო, რომელიც მარკირებულია 1-ით და 2-ით, ბოლოვდება მარყუჟით, რადგან K_1 და K_2 მიმართებები რეფლექსურია; ამასთანავე, ხაზებს ისრები აქვთ ორივე ბოლოში, რადგან K_1 და K_2 სიმეტრიულია.



ნახ. 2.1 კრიპკეს მარტივი სტრუქტურა

თუ დავუშვებთ, რომ p აღნიშნავს გამონათქვამს „სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია“, მაშინ s მდგომარეობაში სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია, მაგრამ

აგენტმა 1 ეს არ იცის, რადგან s მდგომარეობაში ის ორივეს — s -საც და t -საც შესაძლებლად მიიჩნევს. (შევნიშნავთ, რომ ჩვენ ვიყენებდით ფრაზას „აგენტი 1 ვერ განარჩევს ერთმანეთისგან s -სა და t -ს.“ რა თქმა უნდა, აგენტი 1 კარგად აცნობიერებს, რომ s და t სხვადასხვა სამყაროს აღნიშნავს. ბოლოს და ბოლოს, სან-ფრანცისკოში წვიმს s -ში, მაგრამ არა t -ში. ის, რისი თქმაც გვინდოდა ამ შემთხვევაში, შესაძლოა უფრო ზუსტად გამოიხატებოდეს წინადადებით „აგენტ 1-ის ინფორმაცია არასაკმარისია იმისთვის, რომ გაარკვიოს, რომელია რეალური სამყარო — s თუ t .“ ამ წიგნში სიტყვა „განურჩეველს“ რამდენადმე არამკაცრი მნიშვნელობით ვიყენებთ.) მეორე მხრივ, აგენტ 2-მა s მდგომარეობაში იცის, რომ ამინდი მზიანია, რადგან იმ ორივე სამყაროში, რომელსაც აგენტი 2 შესაძლებლად მიიჩნევს s -ში (კერძოდ, s და u), ფორმულა p ჭეშმარიტია. t მდგომარეობაში აგენტ 2-მა ასევე იცის საქმის ჭეშმარიტი ვითარება, კერძოდ ის, რომ ამინდი არ არის მზიანი. აქედან გამომდინარეობს, რომ s მდგომარეობაში აგენტ 1-მა იცის, რომ აგენტ 2-მა იცის, მზიანი ამინდია თუ არა სან-ფრანცისკოში: ორივე სამყაროში, რომელსაც აგენტი 1 შესაძლებლად მიიჩნევს s მდგომარეობაში, კერძოდ, s -სა და t -ში, აგენტ 2-მა იცის, როგორი ამინდია სან-ფრანცისკოში. ამგვარად, მართალია, აგენტ 1-მა s მდგომარეობაში არ იცის ჭეშმარიტი ვითარება, მაგრამ მან იცის, რომ აგენტ 2-მა იცის ჭეშმარიტი ვითარება, ამის საპირისპიროდ, მართალია, s მდგომარეობაში აგენტ 2-მა იცის, რომ სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია, მაგრამ მან არ იცის, რომ აგენტ 1-მა არ იცის ამ ფაქტის შესახებ. (ერთ სამყაროში, რომელსაც აგენტი 2 შესაძლებლად მიიჩნევს, კერძოდ, u -ში, აგენტ 1-მა იცის, რომ ამინდი მზიანია, მაგრამ მეორე სამყაროში, რომელსაც აგენტი 2 შესაძლებლად მიიჩნევს, კერძოდ, s -ში, აგენტ 1-მა არ იცის ამ ფაქტის შესახებ.) მთელი ეს რამდენადმე ჩახლართული ბუნებრივენოვანი მსჯელობა შეიძლება მოკლედ გამოიხატოს ერთი მათემატიკური გამოსახულების საშუალებით:

$$(M, s) \models p \wedge \neg K_1 p \wedge K_2 p \wedge K_1(K_2 p \vee K_2 \neg p) \wedge \neg K_2 \neg K_1 p.$$

ყურადღება მიაქციეთ, რომ ორივე მდგომარეობაში — s -სა და t -ში — მარტივი დებულება p (ჩვენი ენის ერთადერთი მარტივი დებულება) ერთსა და იმავე ჭეშმარიტულ მნიშვნელობას იღებს. ამიტომ შეიძლება ვიფიქროთ, რომ s და t ერთი და იგივეა და შესაძლებელია ერთ-ერთი მათგანის ამოშლა. მაგრამ ეს ასე არ არის! მდგომარეობა ამომწურავად არ განისაზღვრება იმ ჭეშმარიტული მნიშვნელობებით, რომლებსაც მასში იღებენ მარტივი დებულებები.

LOGIC

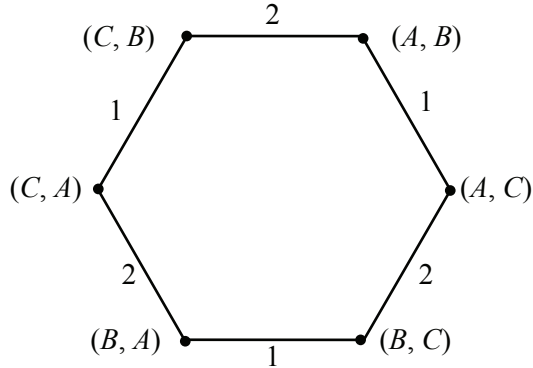
შესაძლებლობის მიმართებებიც უაღრესად მნიშვნელოვანია. მაგალითად, სამყარო s -ში აგენტ 1-ს t შესაძლებლად მიაჩნია, ხოლო სამყარო u -ში — შეუძლებლად. შედეგად, აგენტ 1-მა არ იცის p სამყარო s -ში, ხოლო u -ში — იცის.

ახლა განვიხილოთ ოდნავ უფრო რთული მაგალითი, რომელმაც შეიძლება უფრო ნათელი გახადოს, თუ რატომ იქნებოდა სასურველი K_i -ების დაშვება ეკვივალენტობის მიმართებებად. ვთქვათ, გვაქვს ბანქოს დასტა, რომელიც შედგება სამი — A , B და C — ბანქოს ქალაქისგან. აგენტები 1 და 2 იღებენ თითო ბანქოს ამ დასტიდან; მესამე ბანქო გადაბრუნებულია პირით მაგიდისკენ. შესაძლო სამყარო განისაზღვრება იმის მიხედვით, თუ რომელი ბანქო უჭირავს თითოეულ აგენტს. მაგალითად, სამყარო (A, B) -ში აგენტ 1-ს უჭირავს ბანქო A და აგენტ 2-ს უჭირავს ბანქო B (ხოლო ბანქო C მაგიდაზე დევს გადაბრუნებული). აშკარაა, რომ გვაქვს ექვსი შესაძლო სამყარო: (A, B) , (A, C) , (B, A) , (B, C) , (C, A) და (C, B) . ამის გარდა, ისიც ნათელია, რომ სამყარო (A, B) -ში აგენტი 1 შესაძლებლად მიიჩნევს ორ სამყაროს: თავად (A, B) -ს და (A, C) -ს. აგენტ 1-მა იცის, რომ მას აქვს ბანქო A , მაგრამ ის შესაძლებლად მიიჩნევს, რომ აგენტ 2-ს ეჭიროს ბანქო B ან ბანქო C . ანალოგიურად, სამყარო (A, B) -ში აგენტი 2 განიხილავს ორ სამყაროს: (A, B) -ს და (C, B) -ს. ზოგადად, სამყარო (x, y) -ში აგენტი 1 შესაძლებლად მიიჩნევს (x, y) -ს და (x, z) -ს, ხოლო აგენტი 2 — (x, y) -ს და (z, y) -ს, სადაც z განსხვავებულია როგორც x -ისგან, ისე y -ისგან.

ამ აღწერის საფუძველზე ადვილად შევძლებთ K_1 და K_2 მიმართებების აგებას. ადვილი შესამოწმებელია, რომ ეს მართლაც ეკვივალენტობის მიმართებებია, როგორც განსაზღვრებებიდან გამომდინარეობს. ეს იმიტომაცაა ასე, რომ თითოეული აგენტისთვის შესაძლებლობის მიმართება განპირობებულია მის ხელთ არსებული ინფორმაციით, კერძოდ იმ ბანქოთი, რომელიც მას უჭირავს. ეს მნიშვნელოვანი ზოგადი ფენომენია: ნებისმიერ სიტუაციაში, სადაც აგენტისთვის შესაძლებლობის მიმართება განისაზღვრება მის ხელთ არსებული ინფორმაციით (და როგორც ვნახავთ, ასეთი სიტუაციები მრავლადაა), შესაძლებლობის მიმართება არის ეკვივალენტობის მიმართება.

ამ სამი ბანქოს მაგალითის სტრუქტურა აღწერილია ნახაზზე 2.2, სადაც, გამომდინარე იქიდან, რომ მიმართებები ეკვივალენტობის მიმართებებია, სიმარტივისთვის გამოტოვებულია მარყუჟები და ისრები. (როგორც შევნიშნეთ,

თუ არსებობს მდგომარეობა s -ის მდგომარეობა t -სთან დამაკავშირებელი ნიბო, უნდა არსებობდეს მდგომარეობა t -ის მდგომარეობა s -სთან დამაკავშირებელი ნიბოც სიმეტრიულობის გამო.)



ნახ. 2.2 კრიპკეს სტრუქტურა, რომელიც აღწერს ბანქოს მარტივ თამაშს

ეს მაგალითი ცხადყოფს, რომ სტრუქტურაში უნდა შედიოდეს ის სამყაროებიც, რომლებსაც აგენტი არ თვლის შესაძლებლად. მაგალითად, სამყარო (A, B) -ში აგენტი 1-მა იცის, რომ სამყარო (B, C) შეუძლებელია არსებობდეს. (ბოლოს და ბოლოს, აგენტი 1-მა ნამდვილად იცის, რომ მას ბანქო A უჭირავს). ამის მიუხედავად, რადგან აგენტი 1 შესაძლებლად მიიჩნევს, რომ აგენტი 2-ს შესაძლებლად მიაჩნდეს (B, C) -ს არსებობა, ჩვენ სტრუქტურაში უნდა შევიტანოთ (B, C) . სტრუქტურაში ეს ასახულია იმით, რომ არ გვაქვს (A, B) -დან (B, C) -სკენ მიმართული ნიბო, რომელიც მარკირებული იქნებოდა 1-ით, მაგრამ არის (A, C) -სკენ მიმართული ნიბო, მარკირებული 1-ით, საიდანაც, თავის მხრივ, (B, C) -სკენ მიემართება 2-ით მარკირებული ნიბო.

ჩვენ ჯერ კიდევ არ განგვიხილავს ამ მაგალითისთვის გამოსაყენებელი ენა. რადგან უნდა ვიმსჯელოთ აგენტი 1-ის და 2-ის ხელთ არსებულ ბანქოებზე, გასაგებია, რომ უნდა გვქონდეს მარტივი დებულებები $1A, 2A, 2B$ და ა.შ., რომელთა ინტერპრეტაცია ასეთია: „აგენტი 1-ს უჭირავს ბანქო A ,“ „აგენტი 2-ს უჭირავს ბანქო A ,“ „აგენტი 2-ს უჭირავს ბანქო B ,“ და ა.შ. მოცემული ინტერპრეტაციის საფუძველზე ბუნებრივად განვსაზღვრავთ π -ს, ხოლო M_c -თი აღვნიშნავთ ბანქოს ამ თამაშის აღმწერ კრიპკეს სტრუქტურას. შედეგად მივიღებთ, მაგალითად, ასეთ გამოსახულებას: $(M_c(A, B)) \models 1A \wedge 2B$. მკითხველს შეუძლია თავად შეამოწმოს, რომ ასევე გვექნება ფორმულა $(M_c(A, B)) \models K_1(2B \vee 2C)$, რომელიც გამოსხატავს იმ

LOGIC

ფაქტს, რომ თუ აგენტ 1-ს უჭირავს A , მაშინ მან იცის, რომ აგენტ 2-ს ეჭირება ან B , ან C . ანალოგიურად, გვექნება ფორმულა $(M, (A, B)) \models K_1 \neg K_2(1A)$: აგენტ 1-მა იცის, რომ აგენტ 2-მა არ იცის, რომ აგენტ 1-ს უჭირავს A .

როგორც ამ მაგალითიდან ჩანს, ჩვენი სემანტიკა ასახავს იმ ინტუიციას, რომელსაც ბუნებრივად ვუკავშირებთ სიტყვა „ცოდნას“. ამის მიუხედავად, ეს მაინც არ შეიძლება ჩაითვალოს ჩვენი განსაზღვრებების სრულ დასაბუთებად, კერძოდ, ფორმულა $K_i \phi$ -ის ჩვენი ინტერპრეტაცია „აგენტ i -მ იცის ϕ “ დამატებით განმარტებას მოითხოვს. ჩნდება კითხვა, თუ რა უნდა მივიჩნიოთ გონივრულ დასაბუთებად. საბოლოოდ, წარმოვადგენთ ორ დასაბუთებას და იმედი გვაქვს, მკითხველი მათ დამაკმაყოფილებლად ჩათვლის. პირველი მდგომარეობს დამატებითი მაგალითების ჩვენებაში, რომლებმაც უნდა დაადასტურონ, რომ ჩვენი განსაზღვრებები შეესაბამება სიტყვა „ცოდნის“ გონივრულ გამოყენებას. ერთი ასეთი მაგალითი მოცემულია ქვემოთ, ქვეთავში 2.3, სადაც ჩვენ ვაანალიზებთ დასვრილი ბავშვების თავსატეხს და ვუჩვენებთ, რომ ფორმულა $K_i \phi$ ასახავს ჩვენს ინტუიციას ბავშვი i -ის ცოდნის შესახებ. მეორე დასაბუთება მოცემულია ქვეთავში 2.4, სადაც განვიხილავთ ცოდნის ამ ცნების ზოგიერთ თვისებას და ვუჩვენებთ, რომ ის თავსებადია იმ თვისებებთან, რომელიც შეიძლება ჰქონდეს სრულყოფილი ინტროსპექციისა და სრულყოფილი მსჯელობის უნარის მქონე სუბიექტის ცოდნას. რა თქმა უნდა, ეს არ ნიშნავს, რომ არ არსებობს ცოდნის სხვა გონივრული ცნებები. ზოგ მათგანს ბოლო თავებში განვიხილავთ.

ჩვენ აქ ასევე შემოვიფარგლეთ წინადადებათა მოდალური ლოგიკით. ჩვენ არ გვაქვს პირველი რიგის კვანტიფიკაცია და, ამდენად, ადვილად ვერ ვიტყვით, რომ, მაგალითად, ელისმა იცის ყველა შტატის გუბერნატორი. ასეთი განცხადება მოითხოვს უნივერსალურ და ეგზისტენციალურ კვანტიფიკაციას. მაგალითად, ჩვენ ის შეგვიძლია გამოვხატოთ ფორმულით $\forall x(\text{შტატია}(x) \Rightarrow \exists y(K_{\text{ელიზა}} \text{გუბერნატორია}(x, y)))$: ყველა x შტატისთვის არსებობს ისეთი y , რომ ელისმა იცის, რომ x -ის გუბერნატორი არის y . ამ წიგნის უმეტეს ნაწილში ჩვენ ვიყენებთ მხოლოდ წინადადებათა ლოგიკას, რადგან ის საკმარისად ძლიერია ყველა ჩვენთვის საინტერესო სიტუაციის აღსაწერად და, ამავე დროს, საშუალებას გვაძლევს თავი ავარიდოთ იმ ზოგიერთ სირთულეს, რასაც პირველი რიგის ლოგიკა გამოიწვევდა. ქვეთავში 3.7 ჩვენ მოკლედ განვიხილავთ პირველი რიგის ლოგიკის გამოყენებას.

2.2 ერთობლივი ცოდნის და განაწილებული ცოდნის დამატება

წინა ქვეთავში წარმოდგენილი ენა არ იძლევა ერთობლივი ცოდნის და განაწილებული ცოდნის ცნებების (რომლებიც 1 თავში განვიხილეთ) გამოხატვის საშუალებას. ამ ცნებების გამოსახატად ენას ვამატებთ მოდალურ ოპერატორებს E_G („ჯგუფ G -ში ყველამ იცის“), C_G („ G -ში მყოფი აგენტებისთვის ეს არის ერთობლივი ცოდნა“) და D_G („ G -ში მყოფი აგენტებისთვის ეს არის განაწილებული ცოდნა“) G -ის ყოველი $\{1, \dots, n\}$ არაცარიელი ქვესიმრავლისთვის ისე, რომ თუ ϕ არის ფორმულა, მაშინ $E_G\phi$, $C_G\phi$ და $D_G\phi$ ასევე ფორმულებია. ჩვენ ხშირად გამოვტოვებთ ინდექს G -ს, როცა G არის ყველა აგენტის სიმრავლე. ამ გამდიდრებული ენით შეგვიძლია ისეთი ფრაზების გამოხატვა, როგორებიცაა $K_3 - C_{\{1,2\}}p$ („აგენტ 3-მა იცის, რომ p არ არის ერთობლივი ცოდნა აგენტ 1-სა და 2-ს შორის“) და $Dq \wedge \neg Cq$ („ q არის განაწილებული ცოდნა, მაგრამ არ არის ერთობლივი ცოდნა“).

ჩვენ ადვილად შეგვიძლია განვავრცოთ ჭეშმარიტების განსაზღვრება ისე, რომ შევძლოთ ერთობლივი ცოდნითა და განაწილებული ცოდნით ოპერირება M სტრუქტურაში. რამდენადაც $E_G\phi$ ჭეშმარიტია ზუსტად მაშინ, როცა ჯგუფ G -ში ყველამ იცის ϕ , მივიღებთ

$(M, s) \models E_G\phi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, s) \models K_i\phi$ ყველა $i \in G$ —სთვის.

ფორმულა $C_G\phi$ ჭეშმარიტია, თუ G -ში ყველამ იცის ϕ და G -ში ყველამ იცის, რომ G -ში ყველამ იცის ϕ და ა.შ. დავუშვათ, რომ $E_G^0\phi$ არის ϕ -ის აბრევიატურა, ხოლო $E_G^{k+1}\phi$ არის $E_G E_G^k\phi$ -ის აბრევიატურა. კერძოდ, $E_G^1\phi$ არის $E_G\phi$ -ის აბრევიატურა. მაშინ მივიღებთ

$(M, s) \models C_G\phi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, s) \models E_G^k\phi$ სადაც $k = 1, 2, \dots$

ერთობლივი ცოდნის ჩვენს განსაზღვრებას აქვს საინტერესო გრაფ-თეორიული ინტერპრეტაცია, რომელიც სასარგებლო აღმოჩნდა გამოყენების არაერთ სფეროში. განვსაზღვროთ მდგომარეობა t როგორც G -მიღწევადი s მდგომარეობიდან k რაოდენობის ნაბიჯების შედეგად ($k \geq 1$), თუ არსებობს ისეთი მდგომარეობები s_0, s_1, \dots, s_k , რომ $s_0 = s$, $s_k = t$ და ყველა j -სთვის ($0 \leq j \leq k - 1$) არსებობს ისეთი $i \in G$, რომ $(s_j, s_{j+1}) \in K_i$. ვიტყვი, რომ t არის G -მიღწევადი s -იდან k რაოდენობის ნაბიჯების შედეგად რომელიმე $k \geq 1$ -სთვის. ამგვარად,

LOGIC

t არის G -მილწევადი s -იდან, თუ გრაფში არსებობს გზა s -იდან t -მდე, რომლის მონაკვეთებიც G -ის წევრებით იქნებიან ინდექსირებულნი. კერძო შემთხვევაში, როცა G არის ყველა აგენტის სიმრავლე, ჩვენ უბრალოდ ვიტყვით, რომ t არის მილწევადი s -იდან. ამდენად, t არის მილწევადი s -იდან ზუსტად მაშინ, თუ s და t არიან გრაფის ერთსა და იმავე ბმულ კომპონენტში.

ლემა 2.2.1

(a) $(M, s) \models E_c^k \phi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, t) \models \phi$ ყველა t -სთვის, რომელიც G -მილწევადია s -იდან k რაოდენობის ნაბიჯების შედეგად.

(b) $(M, s) \models E_c \phi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, t) \models \phi$ ყველა t -სთვის, რომელიც G -მილწევადია s -იდან.

დამტკიცება: პუნქტი (a) მიიღება k -ზე მარტივი ინდუქციით, ხოლო პუნქტი (b) უშუალოდ გამომდინარეობს პუნქტ (a)-დან. მიაქციეთ ყურადღება, რომ ეს შედეგი მართებულია მაშინაც კი, როცა \mathcal{K} არის ნებისმიერი ბინარული მიმართება; ჩვენ არ გვჭირდება იმის დაშვება, რომ ისინი აუცილებლად ეკვივალენტობის მიმართებები უნდა იყვნენ. ■

ჯგუფ G -ს აქვს ϕ -ის განაწილებული ცოდნა, თუ G -ის წევრთა „კომბინირებული“ ცოდნიდან გამომდინარეობს ϕ . როგორ უნდა ავსახოთ ჩვენს სქემაში ცოდნის კომბინირების იდეა? 2.1 ნახაზზე მოცემულ კრიპკეს სტრუქტურაში აგენტი 1 მდგომარეობა s -ში s -საც და t -საც შესაძლებლად მიიჩნევს, მაგრამ არ თვლის შესაძლებლად u -ს, ხოლო აგენტი 2 s -ს და u -ს მიიჩნევს შესაძლებლად, მაგრამ არა — t -ს. ვინმეს რომ შესაძლებოდა აგენტების 1-ის და 2-ის ცოდნის კომბინირება, ეცოდინებოდა, რომ მხოლოდ s იყო შესაძლებელი: აგენტ 1-ს აქვს საკმარისი ცოდნა იმისთვის, რომ გამორიცხოს u და აგენტ 2-ს აქვს საკმარისი ცოდნა t -ის გამოსარიცხად. ზოგადად, ჯგუფ G -ში შემავალი აგენტების ცოდნის კომბინირებას ვახდენთ ყველა იმ სამყაროს გამორიცხვით, რომელსაც ერთი აგენტი მაინც შეუძლებლად მიიჩნევს. ტექნიკურად ეს ხორციელდება სამყაროთა იმ სიმრავლეების თანაკვეთით, რომლებსაც ჯგუფში შემავალი ყოველი აგენტი შესაძლებლად მიიჩნევს. ამგვარად, ჩვენ განვსაზღვრავთ:

$(M, s) \models E_c \phi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, t) \models \phi$ ყველა t -სთვის, რომლისთვისაც $(s, t) \in \cap_{i \in G} \mathcal{K}_i$.

დავუბრუნდეთ ჩვენს ბანქოს თამაშს და დავუშვათ, $G = \{1, 2\}$; ამდენად, G არის ჯგუფი, რომელიც ორი მოთამაშისგან შედგება. ამის შემდეგ ადვილი შესამოწმებელია (ლემა 2.2.1-ის გამოყენებით), რომ $(M_r(A, B)) \models C_r(1A \vee 1B \vee 1C)$: ის, რომ აგენტ 1-ს უჭირავს A , B და C ბანქოებიდან ერთ-ერთი, არის ერთობლივი ცოდნა. ალბათ უფრო საინტერესოა $(M_r(A, B)) \models C_r(1B \Rightarrow (2A \vee 2C))$: ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ თუ აგენტ 1-ს უჭირავს ბანქო B , მაშინ აგენტ 2-ს უჭირავს ან A , ან C . უფრო ზოგადად, შეიძლება იმის ჩვენება, რომ თამაშის ნებისმიერი ფაქტი, რომელიც კი შესაძლებელია გამოიხატოს ჩვენი ენის გამონათქვამებით, არის ერთობლივი ცოდნა.

რა შეიძლება ითქვას განაწილებულ ცოდნაზე? მკითხველს შეუძლია თავად შეამოწმოს, რომ ამ შემთხვევაში, მაგალითად, გვაქვს $(M_r(A, B)) \models D_r(1A \wedge 2B)$. აგენტებს რომ შეძლებოდათ თავიანთი ცოდნის ერთად თავმოყრა, მათ ეცოდინებოდათ, რომ (A, B) სამყაროში აგენტ 1-ს უჭირავს ბანქო A და აგენტ 2-ს — ბანქო B .

ისევ უნდა ვთქვათ, რომ ეს მაგალითი ამომწურავად ვერ ამართლებს ჩვენს განსაზღვრებებს. მაგრამ უკიდურეს შემთხვევაში იმაში მაინც უნდა დაარწმუნოს მკითხველი, რომ ეს განსაზღვრებები უსაფუძვლო მაინც არ არის. ერთობლივი ცოდნისა და განაწილებული ცოდნის თვისებებს უფრო დეტალურად გამოვიკვლევთ ქვეთავში 2.4.

2.3 ისევ „დასვრილი ბავშვების“ თავსატეხის შესახებ

ჩვენს ანალიზში დავუშვებთ, რომ ის ფაქტი, რომ მამა გულწრფელია, არის ერთობლივი ცოდნა; რომ ყველა ბავშვს შეუძლია მამის ნათქვამის გაგონება და ესმის კიდევ მისი ნათქვამი; რომ ყველა ბავშვს შეუძლია დაინახოს და ხედავს კიდევ, თუ მათ გარდა რომელ ბავშვს აქვს შუბლი დასვრილი; რომ ვერცერთი ბავშვი ვერ ხედავს საკუთარ შუბლს; და რომ ყველა ბავშვი არის გულწრფელი და (ძალიან) საზრიანი.

თავდაპირველად განვიხილოთ სიტუაცია იქამდე, ვიდრე მამა რამეს იტყოდეს. ვთქვათ, სულ არის ბავშვების n რაოდენობა. როგორც ადრე, მათ დავნომრავთ — $1, \dots, n$. ზოგ ბავშვს შუბლი დასვრილი აქვს, დანარჩენებს —

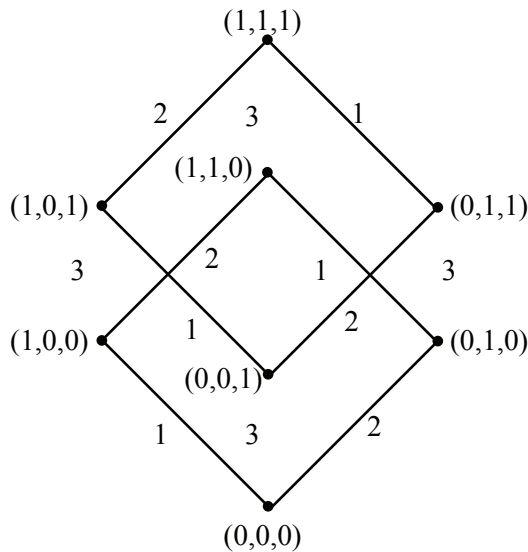
LOGIC

არა. შესაძლო სიტუაცია შეგვიძლია აღვწეროთ 0-ებისა და 1-ების n -ეულების საშუალებით, რომლებსაც ასეთი ფორმა ექნებათ: (x_1, \dots, x_n) , სადაც $x_i = 1$, თუ i ბავშვს დასვრილი აქვს შუბლი და $x_i = 0$, თუ ბავშვის შუბლი სუფთაა. ამგვარად, თუ $n = 3$, მაშინ $(1, 0, 1)$ ფორმის კომპლექსი გამოხატავს ფაქტს, რომ ზუსტად 1 და 3 ბავშვებს აქვთ დასვრილი შუბლი. დავუშვათ, რომ ეს კომპლექსი გამოხატავს რეალურ სიტუაციას. რომელ სიტუაციებს ჩათვლიდა ბავშვი 1 შესაძლებლად იმ მომენტამდე, ვიდრე მამა რამეს იტყოდა? რადგან ბავშვი 1 ხედავს თავის გარდა ყველა დანარჩენი ბავშვის შუბლს, მისთვის მხოლოდ ისაა გაურკვეველი, თავად მას აქვს თუ არა დასვრილი შუბლი. ამდენად, ბავშვი 1 შესაძლებლად მიიჩნევს ორ სიტუაციას, კერძოდ, $(1, 0, 1)$ -ს (რეალურ სიტუაციას) და $(0, 0, 1)$ -ს. ანალოგიურად, ბავშვი 2 შესაძლებლად თვლის ორ სიტუაციას: $(1, 0, 1)$ -ს და $(1, 1, 1)$ -ს. შევნიშნავთ, რომ ზოგადად, ბავშვ i -ს ორ შესაძლო სამყაროში აქვს ერთი და იგივე ინფორმაცია ზუსტად იმ შემთხვევაში, თუ ეს სიტუაციები ყველა კომპონენტში ემთხვევა ერთმანეთს i კომპონენტის გარდა (i კომპონენტი შეიძლება დაემთხვეს, შეიძლება — არა).

ზოგადი სიტუაცია შეგვიძლია აღვწეროთ კრიპკეს M სტრუქტურის საშუალებით, რომელიც შედგება 2^n რაოდენობის მდგომარეობისგან, რომელთაგან თითოეული შეესაბამება შესაძლო n -წევრა კომპლექსს. თავდაპირველად უნდა გადავწყვიტოთ, რომელი გამონათქვამები შევიტანოთ ჩვენს ენაში. რადგან უნდა ვიმსჯელოთ იმაზე, არის თუ არა კონკრეტული ბავშვის შუბლი დასვრილი, ჩვენ ვიღებთ $\Phi = \{p_1, \dots, p_n, p\}$, სადაც, ინტუიციურად, p_i აღნიშნავს ფრაზას „ბავშვ i -ს შუბლი აქვს დასვრილი“ და p აღნიშნავს „სულ მცირე ერთ ბავშვს შუბლი აქვს დასვრილი“. ამგვარად, განვსაზღვრავთ π -ს ისე, რომ $(M, (x_1, \dots, x_n)) \models p_i$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $x_i = 1$; და $(M, (x_1, \dots, x_n)) \models p$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $x_j = 1$ რომელიმე j -ისთვის. რა თქმა უნდა, p არის $(p_1 \vee \dots \vee p_n)$ -ის ეკვივალენტური, ასე რომ, მისი ჭეშმარიტული მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს სხვა მარტივი დებულებების ჭეშმარიტული მნიშვნელობებით. არაფერი არ გვიშლის ხელს, რომ ავირჩიოთ ენა, რომელშიც მარტივი დებულებები არ იქნებიან დამოუკიდებელი. რადგან მოსახერხებელი იქნებოდა იმ მარტივი დებულების დამატება (კერძოდ, p -ს), რომელიც გამოხატავდა მამის განცხადებას. ჩვენც ასე ვიქცევით. დასასრულ, უნდა განვსაზღვროთ K , მიმართებები. რამდენადაც ბავშვი i შესაძლებლად მიიჩნევს რომელიმე სამყაროს, თუ ის ემთხვევა რეალურ

სამყაროს ყველა კომპონენტში გარდა (შესაძლოა) i -ური კომპონენტისა, ჩვენ განვსაზღვრავთ $(s, t) \in K$, ზუსტად იმ შემთხვევაში, თუ s და t ემთხვევა ერთმანეთს ყველა კომპონენტში გარდა (შესაძლოა) i -ური კომპონენტისა. მიაქციეთ ყურადღება, რომ ეს განსაზღვრება K -ს ეკვივალენტობის მიმართებად აქცევს. ამით ვასრულებთ M -ის აღწერას.

მართალია, კრიპკეს ეს სტრუქტურა შეიძლება საკმაოდ გართულებულად მოგვეჩვენოს, მაგრამ მას აქვს ელეგანტური გრაფიკული გამოსახულება. დავუშვათ, უგულებელვყავით თვითმიმართებადი მარყუჟები და წიბოების ინდექსები. მაშინ გვექნება სტრუქტურა 2^n რაოდენობის წვეროებით, რომელთაგან თითოეული აღინიშნება 0-ებისა და 1-ების n -წევრა კომპლექსებით ისე, რომ ორი წვერო ერთმანეთს დაუკავშირდება წიბოთი, თუ ისინი მხოლოდ ერთი კომპონენტით იქნებიან განსხვავებული. კარგი წარმოსახვის მქონე მკითხველი მიხვდება, რომ ეს იქნება n -განზომილებიანი კუბი. კერძო შემთხვევა, როცა $n = 3$, გამოსახულია ნახაზზე 2.3 (სადაც ჩვენ ისევ გამოვტოვეთ თვითმიმართებადი მარყუჟები და ისრები).



ნახ. 2.3 კრიპკეს სტრუქტურა „დასვრილი ბავშვების“ თავსატეხისთვის, სადაც $n = 3$

ინტუიციურად, თითოეულმა ბავშვმა იცის, თუ სხვა რომელ ბავშვს აქვს შუბლი დასვრილი. ეს ინტუიცია წარმოიშვა ცოდნის ზემოთ მოყვანილი

LOGIC

ფორმალური განსაზღვრებიდან. მაგალითად, ადვილი დასანახია, რომ როცა რეალური სიტუაცია არის $(1, 0, 1)$, ვიღებთ $(M, (1, 0, 1)) \models K_1 \neg p_2$, რადგან როცა რეალური სიტუაცია არის $(1, 0, 1)$, ბავშვი 2-ის შუბლი არ არის დასვრილი იმ ორივე სამყაროში, რომელსაც ბავშვი 1 შესაძლებლად მიიჩნევს. ანალოგიურად, გვაქვს $(M, (1, 0, 1)) \models K_1 p_3$: ბავშვმა 1-მა იცის, რომ ბავშვი 3-ის შუბლი დასვრილია. მაგრამ $(M, (1, 0, 1)) \models \neg K_1 p_1$. ბავშვმა 1-მა არ იცის, რომ თავად მისი შუბლი დასვრილია, რადგან სხვა სამყაროებში, რომელსაც ის შესაძლებლად მიიჩნევს — $(0, 0, 1)$ — მისი შუბლი არ არის დასვრილი. ფაქტიურად, ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ ყოველმა ბავშვმა იცის, ყველა სხვა ბავშვის შუბლი დასვრილია თუ არა. ამგვარად, მაგალითად, ფორმულა $p_2 \Rightarrow K_1 p_2$, რომლის თანახმად, თუ ბავშვი 2-ის შუბლი დასვრილია, მაშინ ბავშვმა 1-მა ეს იცის — არის ერთობლივი ცოდნა. მკითხველს შეუძლია თავად შეამოწმოს, რომ $C(p_2 \Rightarrow K_1 p_2)$ ჭეშმარიტია ყველა მდგომარეობაში ისევე, როგორც $C(\neg p_2 \Rightarrow K_1 \neg p_2)$.

სამყარო $(1, 0, 1)$ -ში, რომელშიც არის ორი ბავშვი დასვრილი შუბლით, ყოველმა ბავშვმა იცის, რომ სულ ცოტა ერთ ბავშვს მაინც აქვს დასვრილი შუბლი იქამდეც კი, ვიდრე მამა რამეს იტყოდეს. ბუნებრივია, ჩვენ გვქენება $(M, (1, 0, 1)) \models Ep$. მაგრამ ლემა 2.2.1-დან გამომდინარეობს, რომ $(M, (1, 0, 1)) \models \neg E^2 p$, რადგან p არ არის ჭეშმარიტი სამყარო $(0, 0, 0)$ -ში, რომელსაც შეიძლება ორი ნაბიჯით მივალნიოთ სამყარო $(1, 0, 1)$ -იდან. მკითხველს ადვილად შეუძლია შეამოწმოს, რომ ზოგად შემთხვევაში, თუ n რაოდენობის ბავშვიდან k რაოდენობას დასვრილი აქვს შუბლი (ისე, რომ სიტუაცია აღინერება n -წევრა კომპლექსის საშუალებით, რომლის ზუსტად k რაოდენობის კომპონენტი არის 1-ები), მაშინ $E^{k+1} p$ არის ჭეშმარიტი, მაგრამ $E^k p$ — არა, რადგან ყოველ სამყაროს $(0$ -ებისა და 1 -ების კომპლექსს), რომელიც მიღწევადია $k-1$ ნაბიჯით, აქვს სულ ცოტა ერთი 1 -იანი მაინც (და, ამდენად, იქ ერთი ბავშვი მაინც არის დასვრილი შუბლით), ხოლო კომპლექსი $(0, \dots, 0)$ მიღწევადია k რაოდენობის ნაბიჯით.

ვიდრე განვაგრძობდეთ, მკითხველმა უნდა გააცნობიეროს, რომ ჩვენ მიერ წარმოდგენილი სქემა არაერთ ფარულ, ნაგულისხმებ დაშვებას შეიცავს. სამყაროს წარმოდგენა n -წევრა კომპლექსის ფორმით ლეგიტიმურია იმ შემთხვევაში, თუ დაფუძნებთ, რომ ეს კომპლექსები შეიცავენ ჩვენი მსჯელობისთვის აუცილებელ ინფორმაციას. თუ დარწმუნებული არ ვართ იმაში, ხედავს თუ არა ბავშვი 1, მაშინ მდგომარეობის აღწერაში ამ ინფორმაციის შეტანაც მოგვიწევს. ასევე შევნიშ-

ნავთ, რომ ნიბოების შერჩევას განაპირობებდა წინასწარი დაშვება იმის შესახებ, რომ ერთობლივი ცოდნაა ის ფაქტი, რომ ყველა ბავშვი ხედავს. მაგალითად, თუ $n = 3$ და თუ ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ ბავშვი 1 ბრმაა, მაშინ სიტუაციაში (1, 1, 1) ბავშვი 1 ასევე შესაძლებლად მიიჩნევა (1, 0, 0)-ს. მას არ ეცოდინებოდა, რომ ბავშვ 2-ს შუბლი დასვრილი აქვს (იხ. სავარჯიშოები 2.1 და 2.2).

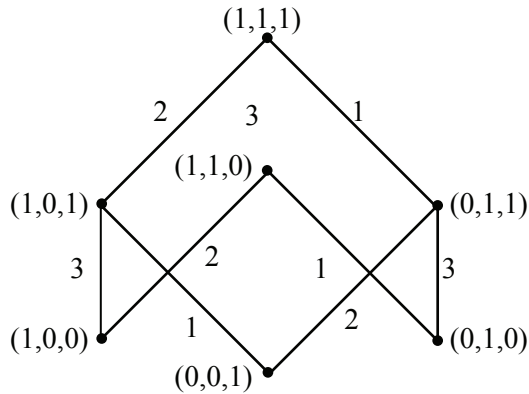
ზოგადად, როცა ვახდენთ მოცემული სიტუაციის მოდელირებას, მოდელში ყველაფერი, რაც კი რელევანტურია, უნდა შევიტანოთ. ერთი მიზეზი, თუ რატომ შეიძლება რაიმე ფაქტი ყოფილიყო „არარელევანტური“, ისაა, რომ მას კავშირი არ ჰქონოდა გასაანალიზებელ სიტუაციასთან. მაგალითად, ინფორმაცია იმის თაობაზე, ბავშვი 1 ბიჭია თუ გოგო, არ შედის შესაძლო სამყაროს აღწერაში. არარელევანტურობის მეორე მიზეზი არის ის, რომ რალაც ფაქტი შესაძლოა იყოს ერთობლივი ცოდნა. თუ ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ ყველა ბავშვი ხედავს, აზრი არ აქვს ამ ინფორმაციის შეტანას შესაძლო სამყაროების აღწერაში. ის ჭეშმარიტია საერთო სურათის ყველა შესაძლო სამყაროში, ასე რომ მისი ხსენებით ვერაფერს ვერ შევმატებთ აღწერას. ამდენად, ერთობლივი ცოდნა შეიძლება დაგვეხმაროს სიტუაციის აღწერის გამარტივებაში.

შევნიშნავთ, რომ ზემოთ მოყვანილ მსჯელობაში ჩვენ ტერმინ „ერთობლივი ცოდნას“ ვიყენებდით ორი ოდნავ განსხვავებული, თუმცა ურთიერთდაკავშირებული მნიშვნელობით. ამათგან პირველი არის ტექნიკური მნიშვნელობა, ანუ, ჩვენს ენაში ფორმულა Φ არის ერთობლივი ცოდნა მდგომარეობა s -ში, თუ ის ჭეშმარიტია ყველა იმ მდგომარეობაში, რომელიც კი მიღწევადია s -იდან. მეორე მნიშვნელობა რამდენადმე არაფორმალურია, როცა ჩვენ ვამბობთ, რომ ფაქტი (არ არის აუცილებელი, ის გამოიხატებოდეს ჩვენს ენაზე) არის ერთობლივი ცოდნა, თუ ის ჭეშმარიტია სტრუქტურის ყველა სიტუაციაში (მდგომარეობაში). როცა ვამბობთ, რომ ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ ერთ ბავშვს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი, ჩვენ ერთობლივი ცოდნას ვიყენებთ პირველი მნიშვნელობით, რადგან ეს შეესაბამება ფორმულა Cp -ს. მაგრამ როცა ვამბობთ, რომ ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ არც ერთი ბავშვი არ არის ბრმა, ჩვენ ამ ტერმინს მეორე მნიშვნელობით ვიყენებთ, რადგან ჩვენს ენაში არ გვაქვს ფორმულა q , რომელიც იტყოდა, რომ არც ერთი ბავშვი არ არის ბრმა. ამ ტერმინის ეს ორი მნიშვნელობა აშკარად ურთიერთდაკავშირებულია. მაგალითად, თუ ჩვენ ენას გავამდიდრებთ და შევიტანთ ფორმულა q -ს, რომელიც იტყოდა, რომ „არც

LOGIC

ერთი ბავშვი არ არის ბრმა“, მაშინ Cq ფაქტიურად ჭეშმარიტი იქნებოდა კრიპკეს ამ სტრუქტურის ყველა მდგომარეობაში. წიგნში ჩვენ ამ ტერმინს კვლავაც ორივე მნიშვნელობით გამოვიყენებთ და იმედი გვაქვს, რომ მკითხველი თავად შეძლებს, სადაც აუცილებელი იქნება, გაარკვიოს ეს ორაზროვნება.

დავუბრუნდეთ ჩვენი თავსატეხის ანალიზს და განვიხილოთ, თუ რა ხდება მას შემდეგ, რაც მამა იწყებს ლაპარაკს. მამა ამბობს p -ს, რაც, როგორც ახლახანს აღვნიშნეთ, უკვე ცნობილია ყველა ბავშვისთვის თუ ორ ან ორზე მეტ ბავშვს დასვრილი აქვს შუბლი. მაგრამ იმის მიუხედავად, რომ ბავშვებმა უკვე იციან p , ცოდნის მდგომარეობა მაინც იცვლება. თუ $n = 3$, სამყარო $(1, 0, 1)$ -ში ბავშვი 1 მიიჩნევს შესაძლებლად სიტუაცია $(0, 0, 1)$ -ს. ამ უკანასკნელ სამყაროში ბავშვი 3 შესაძლებლად მიიჩნევს $(0, 0, 0)$ -ს. ამდენად, სამყარო $(1, 0, 1)$ -ში, იქამდე, ვიდრე მამა იტყოდეს რამეს, იმის მიუხედავად, რომ ყველამ იცის, რომ სულ მცირე ერთ ბავშვს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი, ბავშვი 1 ფიქრობს, რომ შესაძლებელია, რომ ბავშვი 3 ფიქრობდეს, რომ არც ერთ ბავშვს არ აქვს დასვრილი შუბლი. მას შემდეგ, რაც მამა იწყებს ლაპარაკს, ის ფაქტი, რომ სულ მცირე ერთ ბავშვს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი, ხდება ერთობლივი ცოდნა. (ეს, რა თქმა უნდა, დამოკიდებულია ჩვენს დაშვებაზე, რომ ყველა ბავშვს შეუძლია გაიგოს და ესმის კიდევ მამის ნათქვამი.) ჯგუფში ცოდნის მდგომარეობის შეცვლა შეგვიძლია გრაფიკულად გამოვსახოთ (ზოგად შემთხვევაში) კუბიდან $(0, 0, \dots, 0)$ წერტილის ამოშლით, რის შედეგადაც მივიღებთ „ნაკვეთილ“ კუბს. (უფრო ზუსტად, წვერო $(0, 0, \dots, 0)$ რჩება, მაგრამ ქრება ყველა ის წიბო, რომელიც აკავშირებს $(0, 0, \dots, 0)$ -ს სხვა წვეროებთან, რომლებიც მხოლოდ ერთ 1-იანს შეიცავენ, რადგან ერთობლივი ცოდნაა ის ფაქტი, რომ თუნდაც მხოლოდ ერთ ბავშვს ჰქონდეს შუბლი დასვრილი, მამის ნათქვამის შემდეგ ის ბავშვიც აღარ ჩათვლის შესაძლებლად, რომ არც ერთ ბავშვს არ აქვს დასვრილი შუბლი.) ეს სიტუაცია გამოსახულია ნახაზზე 2.4.



ნახაზი 2.4 კრიპკეს სტრუქტურა მას შემდეგ, რაც მამა იწყებს ლაპარაკს

ამის შემდეგ ვუჩვენებთ, რომ ყოველ ჯერზე, როცა ბავშვები მამის შეკითხვას პასუხობენ „არა“-თი, ჯგუფის ცოდნის მდგომარეობა იცვლება და ხდება კუბის შემდგომი შეკვეცა. განვიხილოთ, რა ხდება მას შემდეგ, რაც ბავშვები პასუხობენ „არას“ მამის პირველ შეკითხვას. ჩვენ ვიტყვით, რომ ახლა შეიძლება ყველა იმ წვეროს ამოშლა, რომლებიც მხოლოდ ერთ 1-იანს შეიცავენ. (უფრო ზუსტად, გრაფიდან გაქრება ყველა ის ნიბო, რომელიც ამ წვეროებთან აკავშირებდა ზუსტად ორი 1-იანის შემცველ წვეროებს.) წვეროები, რომლებიც მხოლოდ ერთ ან ერთზე ნაკლებ 1-იანებს შეიცავენ, აღარ იქნებიან მიღწევადი წვეროებიდან, რომლებიც შეიცავენ ორ ან ორზე მეტ 1-იანებს. ეს მსჯელობა ანალოგიურია იმ მსჯელობისა, რომელსაც შეიცავდა თავსატეხში მოცემული „დამტკიცება“. რეალური სიტუაცია რომ ყოფილიყო, ვთქვათ, $(1, 0, \dots, 0)$, მამის ბავშვი 1 თავდაპირველად შესაძლებლად მიიჩნევდა ორ სიტუაციას: $(1, 0, \dots, 0)$ -სა და $(0, 0, \dots, 0)$ -ს. მას შემდეგ, რაც მამა იტყოდა იმას, რაც თქვა, ერთობლივ ცოდნად იქცეოდა ის ფაქტი, რომ $(0, 0, \dots, 0)$ არ არის შესაძლებელი, ასე რომ, ის მიხვდებოდა, რომ არსებული სიტუაცია შეესაბამებოდა $(1, 0, \dots, 0)$ -ს და ამდენად, სწორედ მას რომ ჰქონდა დასვრილი შუბლი. მას შემდეგ, რაც მამის პირველ შეკითხვაზე ყველა პასუხობს „არა“-ს, ერთობლივი ცოდნა ხდება ის, რომ სიტუაცია $(1, 0, \dots, 0)$ არ არის შესაძლებელი. (შევნიშნავთ, რომ ამ შემთხვევაში უნდა დავუშვათ, რომ ერთობლივი ცოდნაა ის ფაქტი, რომ ყველა არის გულწრფელი და საზრიანი იმისთვის, რომ შეეძლოს ისეთი მსჯელობა, რომელიც საჭირო იქნებოდა $(1, 0, \dots, 0)$ -ის შეუძლებლობის საჩვენებლად.) ანალოგიური მსჯელობა საშუალებას

LOGIC

გვაძლევს გამოვრიცხოთ ყველა სიტუაცია, რომელიც ზუსტად ერთ 1-იანს შეიცავს. ამდენად, მას შემდეგ, რაც მამის პირველ შეკითხვას ყველა ბავშვმა „არა“ უპასუხა, ერთობლივი ცოდნა გახდა ის, რომ სულ ცოტა ორ ბავშვს დასვრილი აქვს შუბლი.

ამავე სტილის შემდგომი განსჯით აშკარა ხდება, რომ მას შემდეგ, რაც ბავშვები უპასუხებენ „არა“-ს k -ჯერ, შეგვეძლება ამოვშალოთ გრაფის ყველა ის წვერო, რომელიც შეიცავს მაქსიმუმ k რაოდენობის 1-იანებს (ან, უფრო ზუსტად, წავშალოთ გრაფის დანარჩენ ნაწილთან ამ წვეროების შემაერთებელი წიბოები). ამდენად, ჩვენ ვიღებთ კრიპკეს სტრუქტურების თანმიმდევრობას, რომელიც აღწერს ბავშვების ცოდნას ამ პროცესის ყოველ ნაბიჯზე. არსებითად, ხდება ის, რომ თუ რომელიმე წვერო s -ში ერთობლივი ცოდნა ხდება ის, რომ წვერო t არ არის შესაძლებელი, მაშინ ყველა u წვეროსთვის, რომელიც მიღწევადია s -დან, ამოიშლება წიბო u -დან t -მდე (თუ ასეთი არსებობს); (ეს სიტუაცია უფრო მარტივი აღსაწერიც კია, თუკი საერთო სურათს დროსაც დაფუძნებთ. ამ საკითხს მე-7 თავში დავუბრუნდებით; კერძოდ, იხ. ქვეთავი 7.2).

კითხვების k რაოდენობის რაუნდის შემდეგ ერთობლივი ცოდნა ხდება ის, რომ სულ ცოტა $k+1$ რაოდენობის ბავშვს აქვს დასვრილი შუბლი. თუ რეალური სიტუაცია შეესაბამება კომპლექსს, რომელიც ზუსტად $k+1$ რაოდენობის 1-იანებს შეიცავს, მაშინ იქამდე, ვიდრე მამა დასვამდეს $(k+1)$ -ე კითხვას, ბავშვები, რომლებსაც დასვრილი აქვთ შუბლი, გააცნობიერებენ რეალურ სიტუაციას, კერძოდ, რომ მათ დასვრილი აქვთ შუბლი და, შესაბამისად, უპასუხებენ „დიახ“-ს. შევნიშნავთ, რომ ისინი ვერ შეძლებდნენ გაეცათ პასუხი „დიახ“ ამაზე ადრე, რადგან ამ მომენტამდე ყოველი ბავშვი, რომელსაც დასვრილი ჰქონდა შუბლი, შესაძლებლად ჩათვლიდა, რომ მისი შუბლი დასვრილი არ იყო.

არის კიდევ ერთი დელიკატური მომენტი, რომელიც აუცილებლად უნდა აღინიშნოს. უხეშად რომ ვთქვათ, ამ კონტექსტში „ცოდნის“ მოდელირების ჩვენი მეთოდის თანახმად, ბავშვმა „იცის“ რაღაც ფაქტი, თუ ის გამომდინარეობს მის ხელთ არსებული ინფორმაციიდან. მაგრამ შეგვეძლო წარმოგვედგინა ისეთი სიტუაცია, რომ თუ ერთ-ერთი იმ ბავშვთაგანი მაინცადამაინც საზრიანი არ აღმოჩნდებოდა, მაშინ შესაძლებელია მას ვერც გაეცნობიერებინა, რომ მან „იცოდა“, რომ მისი შუბლი დასვრილი იყო, იმის მიუხედავად, რომ საკმარისი

ინფორმაცია ჰქონდა ამის გასაკეთებლად. მამის შეკითხვაზე პასუხი „დიახ“ რომ გაეცა, ამისთვის საკმარისი არ იქნებოდა, რომ ის, მისი შუბლი დასვრილი იყო თუ არა, გამომდინარეობდეს მის ხელთ არსებული ინფორმაციიდან. ბავშვი ფაქტიურად უნდა აცნობიერებდეს იმ შედეგებს, რაც შეიძლება გამომდინარეობდეს მისთვის ცნობილი ინფორმაციიდან — ანუ, გარკვეული აზრით, ბავშვს უნდა შეეძლოს გამოთვალოს, რომ მას აქვს ეს ცოდნა — იმისთვის, რომ მის შესაბამისად იმოქმედოს. ჩვენი განსაზღვრება იმპლიციტურად უშვებს, რომ მსჯელობის ყველა სუბიექტი არის *ლოგიკურად ყოვლისმცოდნე*, ე.ი. საკმარისად საზრიანი იმისთვის, რომ გამოთვალოს თავის ხელთ არსებული ინფორმაციის ყველა შესაძლო შედეგი.

ახლა განვიხილოთ სიტუაცია, რომელშიც მამა თავდაპირველად არ ამბობს *p*-ს. ასეთ შემთხვევაში ბავშვების ცოდნის მდგომარეობა არასდროს არ შეიცვლება იმისდა მიუხედავად, თუ რამდენჯერ დასვამს მამა კითხვას. ის ყოველ ეტაპზე შეიძლება აღინეროს *n*-განზომილებიანი კუბის საშუალებით. ჩვენ უკვე ვთქვით, რომ იქამდე, ვიდრე მამა ლაპარაკს დაიწყებდა, სიტუაცია აღინერებოდა *n*-განზომილებიანი კუბის საშუალებით. როცა მამა პირველად იკითხავს, „რომელიმე თქვენგანმა თუ იცის, დასვრილი აქვს თუ არა შუბლი?“, ბუნებრივია, ბავშვები პასუხობენ „არა“-ს იმისდა მიუხედავად, თუ როგორია რეალური სიტუაცია, რადგან ნებისმიერ სიტუაციაში ბავშვი შესაძლებლად მიიჩნევს სიტუაციას, რომელშიც მას შუბლი არ ექნება დასვრილი. რამდენადაც იქამდე, ვიდრე მამა კითხვას დასვამდეს, ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ პასუხი იქნება „არა“, ამ პასუხიდან არანაირი ინფორმაციის მიღება არ ხდება და ამიტომაც სიტუაცია შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს *n*-განზომილებიანი კუბის სახით. *m*-ზე ჩატარებული პირდაპირი ინდუქცია გვიჩვენებს, რომ ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ მამის მე-*m* კითხვას ასევე „არას“ უპასუხებენ (რამდენადაც იმ მომენტში, როცა მამა სვამს კითხვას, იმისდა მიუხედავად, თუ როგორია რეალური სიტუაცია, ყოველი ბავშვი შესაძლებლად თვლის სხვა სიტუაციასაც, რომელშიც მას არ ექნებოდა შუბლი დასვრილი) და ცოდნის მდგომარეობა მას შემდეგ, რაც მამა დასვამს მე-*m* კითხვას, კვლავაც იმ კუბით გამოიხატება.

ამით ვასრულებთ დასვრილი ბავშვების თავსატეხის ანალიზს.

2.4 ცოდნის თვისებები

ამ თავის პირველ ნაწილში აღვწერეთ ენა, რომელსაც ექნებოდა K_i -ის მსგავსი მოდალური ოპერატორები და განვსაზღვრეთ ჭეშმარიტების ცნება, რომელიც, კერძოდ, ადგენს, არის თუ არა $K_i\phi$ -ის მსგავსი ფორმულა ჭეშმარიტი კონკრეტულ სამყაროში. ჩვენ ვივარაუდეთ, რომ $K_i\phi$ უნდა ნაკითხულ იქნეს როგორც „აგენტმა i -მ იცის ϕ .“ მაგრამ არის კი ეს ამ ფორმულის ნაკითხვის გონივრული ვარიანტი? ადეკვატურად ასახავს თუ არა ჩვენი სემანტიკა — ანუ, კრიპკეს სტრუქტურა ჭეშმარიტების განსაზღვრის შემოთავაზებულ მეთოდთან ერთად — ცოდნის თვისებებს? როგორ შეიძლება გაეცეს პასუხი ამ კითხვას?

ჩვენ შეგვიძლია ვცადოთ ამ კითხვაზე პასუხის გაცემა იმის გამოკვლევით, თუ რა თვისებები აქვს ცოდნას (ჩვენი ინტერპრეტაციით). ჩვენი ინტერპრეტაციით მოცემული ცოდნის თვისებების დახასიათების ერთ-ერთი მეთოდი არის იმ ფორმულების დახასიათება, რომელიც ყოველთვის ჭეშმარიტია. უფრო ფორმალურად რომ ჩამოვაყალიბოთ, თუ გვაქვს სტრუქტურა $M = (S, \pi, K_1, \dots, K_n)$, ჩვენ ვიტყვით, რომ ϕ მართებულია M -ში და დავწერთ $M \models \phi$, თუ $(M, s) \models \phi$ სრულდება S -ში შემავალი ყოველი s მდგომარეობისთვის და ვიტყვით, რომ ϕ შესრულებადია M -ში, თუ $(M, s) \models \phi$ სრულდება S -ში შემავალი რომელიმე s მდგომარეობისთვის. ვიტყვით, რომ ϕ მართებულია და დავწერთ $\models \phi$, თუ ϕ მართებულია ყველა სტრუქტურაში და ვიტყვით, რომ ϕ შესრულებადია, თუ ის სრულდება რომელიმე სტრუქტურაში. ადვილი შესამონმეებელია, რომ ფორმულა ϕ მართებულია (resp. მართებულია M -ში), მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ $\neg\phi$ არ სრულდება (resp. არ სრულდება M -ში).

ახლა ჩამოვთვლით ცოდნის ჩვენეული განსაზღვრების რამდენიმე მართებულ თვისებას და წარმოვადგენთ მათი მართებულობის ფორმალურ დამტკიცებას. შემდეგ ვიმსჯელებთ, თუ რამდენად დასაბუთებულია ეს თვისებები. როგორც ადრე, ამ ქვეთავში დავუშვებთ, რომ შესაძლებლობის მიმართებები K_i არის ეკვივალენტობის მიმართებები.

ცოდნის ჩვენ მიერ შემოთავაზებული განსაზღვრების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი არის ის, რომ ყოველმა აგენტმა იცის თავისი ცოდნის ყველა ლოგიკური შედეგი. თუ აგენტმა იცის ϕ და იცის, რომ ϕ გულისხმობს ψ -ს, მაშინ როგორც ϕ , ისე $\phi \Rightarrow \psi$ ჭეშმარიტია ყველა იმ სამყაროში,

რომელსაც ის შესაძლებლად მიიჩნევს. ამდენად, ψ ჭეშმარიტი უნდა იყოს ყველა იმ სამყაროში, რომელსაც ეს აგენტი შესაძლებლად მიიჩნევს და, შესაბამისად, მან ასევე უნდა იცოდეს ψ . აქედან ვასკვნიტ

$$\models (K_i \phi \wedge K_i(\phi \Rightarrow \psi)) \Rightarrow K_i \psi.$$

ამ აქსიომას დისტრიბუციის აქსიომა ეწოდება, რადგან მისი საშუალებით ხდება K_i ოპერატორის დისტრიბუცია იმპლიკაციაზე. ეს, როგორც ჩანს, გულისხმობს, რომ ჩვენი აგენტები საკმაოდ ძლიერი მოაზროვნეები არიან.

ის ფაქტი, რომ ცოდნის ჩვენი განსაზღვრება „ძლიერ“ აგენტებზეა გათვლილი იმითაც დასტურდება, რომ აგენტებმა იციან ყველა ფორმულა, რომელიც მართებულია მოცემულ სტრუქტურაში. თუ ϕ ჭეშმარიტია M სტრუქტურის ყველა სამყაროში, მაშინ ϕ ჭეშმარიტი უნდა იყოს ყველა იმ სამყაროში, რომელსაც M -ის ნებისმიერ სამყაროში მყოფი აგენტი მიიჩნევს შესაძლებლად, ამდენად $K_i \phi$ ჭეშმარიტია M -ის ყველა შესაძლო სამყაროში. ფორმალურად, ჩვენ ვიღებთ ცოდნის განზოგადების წესს:

$$\text{ნებისმიერი } M \text{ სტრუქტურისთვის, თუ } M \models \phi, \text{ მაშინ } M \models K_i \phi.$$

შევნიშნავთ, რომ ამ წესის საშუალებით ჩვენ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თუ ϕ მართებულია, მაშინ ასევე მართებულია $K_i \phi$ -ც. ეს წესი სრულიად განსხვავდება ფორმულისგან $\phi \Rightarrow K_i \phi$, რომლის თანახმად, თუ ϕ ჭეშმარიტია, მაშინ აგენტმა i -მ ის იცის. არ არის აუცილებელი, აგენტმა იცოდეს ყველაფერი ის, რაც ჭეშმარიტია. (მაგალითად, დასვრილი ბავშვების შემთხვევაში შესაძლოა ჭეშმარიტი იყოს, რომ ბავშვ 1-ს დასვრილი აქვს შუბლი, მაგრამ არაა აუცილებელი მან ეს იცოდეს.) მაგრამ აგენტებმა იციან ყველა მართებული ფორმულა. ინტუიციურად, ეს ის ფორმულებია, რომლებიც არიან აუცილებლად ჭეშმარიტნი იმ ფორმულების საპირისპიროდ, რომლებიც შეიძლება მხოლოდ მოცემულ სამყაროში აღმოჩნდნენ ჭეშმარიტნი.

მართალია, აგენტმა შეიძლება არ იცოდეს ყველა ჭეშმარიტი ფაქტი, მაგრამ თუ აგენტმა იცის რაიმე ფაქტი, მაშინ ეს ფაქტი ჭეშმარიტია. ფორმალურად

$$\models K_i \phi \Rightarrow \phi.$$

LOGIC

ეს თვისება, რომელსაც ზოგჯერ ცოდნის აქსიომას ან ჭეშმარიტების აქსიომას (ცოდნისთვის) უწოდებენ, ფილოსოფოსთა მიერ მიჩნეულია უმთავრეს ნიშნად, რომელიც განასხვავებს ცოდნას რწმენისგან. თქვენ შეიძლება გქონდეთ მცდარი რწმენა, მაგრამ თქვენ ვერ გეცოდინებათ რაღაც, რაც არის მცდარი. ეს თვისება განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ რეალური სამყარო ყოველთვის არის იმ სამყაროთა შორის, რომელსაც აგენტი შესაძლებლად მიიჩნევს. თუ $K_i\phi$ მართებულია კონკრეტულ (M, s) სამყაროში, მაშინ ϕ ჭეშმარიტია ყველა იმ სამყაროში, რომელსაც i შესაძლებლად მიიჩნევს და კერძოდ, ის ჭეშმარიტია (M, s) -ში.

ბოლოს განვიხილავთ ორ თვისებას, რომელთა თანახმადაც აგენტებს აქვთ ინტროსპექციის უნარი საკუთარი ცოდნის მიმართ. მათ იციან, თუ რა იციან და რა არ იციან:

$$\models K_i\phi \Rightarrow K_i K_i\phi,$$

$$\models \neg K_i\phi \Rightarrow K_i \neg K_i\phi.$$

ამ თვისებათაგან პირველს ჩვეულებრივ პოზიტიური ინტროსპექციის აქსიომას უწოდებენ, მეორეს კი ნეგატიური ინტროსპექციის აქსიომას.

შემდეგი თეორემა ფორმალურად დაგვარწმუნებს იმაში, რომ ყველა ზემოგანხილული თვისება მართებულია ცოდნის ჩვენი განსაზღვრებისთვის.

თეორემა 2.4.1 ყველა ϕ და ψ ფორმულისთვის, ყველა M სტრუქტურისთვის, სადაც K_i არის ეკვივალენტობის მიმართება და ყველა $i = 1, \dots, n$ აგენტისთვის,

$$(a) M \models (K_i\phi \wedge K_i(\phi \Rightarrow \psi)) \Rightarrow K_i\psi,$$

$$(b) \text{თუ } M \models \phi, \text{ მაშინ } M \models K_i\phi,$$

$$(c) M \models K_i\phi \Rightarrow \phi,$$

$$(d) M \models K_i\phi \Rightarrow K_i K_i\phi,$$

$$(e) M \models \neg K_i\phi \Rightarrow K_i \neg K_i\phi.$$

დამტკიცება

(a) თუ $(M, s) \models K_i\phi \wedge K_i(\phi \Rightarrow \psi)$, მაშინ ყველა ისეთი t მდგომარეობისთვის, რომ $(s, t) \in K_i$, გამომდინარეობს ორივე: $(M, t) \models \phi$ და $(M, t) \models \phi \Rightarrow \psi$. \models -ის განსაზღვრის თანახმად, $(M, t) \models \psi$ ყველა ასეთი t -სთვის და ამდენად $(M, s) \models K_i\psi$.

- (b) თუ $M \models \phi$, მაშინ $(M, t) \models \phi$ ყველა t მდგომარეობისთვის M -ში. კერძოდ, ნებისმიერი ფიქსირებული s მდგომარეობისთვის M -ში $(M, t) \models \phi$ ყველა ისეთი t -თვის, რომ $(s, t) \in K_r$. ამდენად, $(M, s) \models K_r \phi$ ყველა s მდგომარეობისთვის M -ში და, აქედან გამომდინარე, $M \models K_r \phi$.
- (c) თუ $(M, s) \models K_r \phi$, მაშინ ყველა ისეთი t -თვის, რომ $(s, t) \in K_r$, $(M, t) \models \phi$. რადგან K_r რეფლექსურია, $(s, s) \in K_r$ და, კერძოდ, $(M, s) \models \phi$.
- (d) ვთქვათ, $(M, s) \models K_r \phi$. განვიხილოთ ნებისმიერი t ისეთი, რომ $(s, t) \in K_r$ და ნებისმიერი u ისეთი, რომ $(t, u) \in K_r$, რადგან K_r ტრანზიტულია, $(s, u) \in K_r$. რადგან $(M, s) \models K_r \phi$, $(M, u) \models \phi$. ამდენად, ყველა ისეთი t -თვის, რომ $(s, t) \in K_r$, $(M, t) \models K_r \phi$. აქედან გამომდინარეობს, რომ $(M, s) \models K_r K_r \phi$.
- (e) ვთქვათ, $(M, s) \models \neg K_r \phi$. მაშინ რომელიმე u -სთვის, რომლისთვისაც $(s, u) \in K_r$, $(M, u) \models \neg \phi$. დავუშვათ, t ისეთია, რომ $(s, t) \in K_r$. რადგან K_r სიმეტრიულია, $(t, s) \in K_r$ და რადგან K_r ტრანზიტულია, $(t, u) \in K_r$. ამდენად, $(M, t) \models \neg K_r \phi$. რადგან ეს ჭეშმარიტია ყველა ისეთი t -სთვის, რომლისთვისაც $(s, t) \in K_r$, მივიღებთ $(M, s) \models K_r \neg K_r \phi$.

იმთვისებათაერთობლობა, რომელიც აქამდე განვიხილეთ — დისტრიბუციის აქსიომა, ცოდნის აქსიომა, პოზიტიური და ნეგატიური ინტროსპექციის აქსიომები და ცოდნის განზოგადების წესი — შესაბამის ლიტერატურაში საფუძვლიანად არის შესწავლილი. ისტორიული მოსაზრებებით, ამ თვისებებს ზოგჯერ *S5* თვისებებს უწოდებენ. (ფაქტიურად, *S5* არის აქსიომათა სისტემა. მის უფრო ფორმალურ განსაზღვრებას შემდეგ თავში შემოგთავაზებთ.) რამდენად დასაბუთებულია ეს თვისებები? 2.4.1 თეორემის დამტკიცებამ გვიჩვენა, რომ, მკაცრი გაგებით, ცოდნის აქსიომის მართებულობა გამომდინარეობს იმ ფაქტიდან, რომ K_r არის რეფლექსური; პოზიტიური ინტროსპექციის აქსიომა გამომდინარეობს იმ ფაქტიდან, რომ K_r ტრანზიტულია; და ნეგატიური ინტროსპექციის აქსიომა გამომდინარეობს იმ ფაქტიდან, რომ K_r არის სიმეტრიული და ტრანზიტული. მართალია, K_r -ის ეკვივალენტობის მიმართებად განსაზღვრა თითქოს გონივრულია გამოყენების მრავალი სფეროსთვის, მაგრამ ასევე შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ სხვა შესაძლებლობებიც. როგორც მე-3 თავში ვნახავთ, K_r -ის მიმართებების თვისებების მოდიფიკაციით შეგვიძლია მივიღოთ ცოდნის ისეთი ცნებები, რომლებსაც განსხვავებული თვისებები ექნებათ.

LOGIC

ორი თვისება, რომელიც, როგორც ჩანს, შესაძლო სამყაროების მეთოდმა მოგვახვია თავს, არის დისტრიბუციის აქსიომა და ცოდნის განზოგადების წესი. იმისდა მიუხედავად, თუ როგორ გარდავექმნით K_i მიმართებებს, ეს თვისებები გარდაუვალია. (ფორმალურად ამას მომდევნო თავში დავამტკიცებთ.) ეს თვისებები შესაძლოა გონივრულად მივიჩნიოთ, თუ გამონათქვამს „აგენტმა i -მ იცის ϕ “ გავაიგივებთ გამონათქვამთან „ ϕ გამომდინარეობს აგენტი i -ს ინფორმაციიდან“, როგორც ამას იმპლიციტურად ვაკეთებდით დასვრილი ბავშვების თავსატეხის მოდელირებისას. იმდენად, რამდენადაც ცოდნას განვიხილავთ აგენტების მიერ განსჯის პროცესის შედეგად შეძენილ ოდენობად, ეს თვისებები გულისხმობს, რომ ჩვენს ანალიზში აგენტები განსჯის უზადო უნარს უნდა ფლობდნენ. გარკვეულ გარემოებებში ეს შესაძლოა გონივრული იდეალიზაცია იყოს (და ეს ექსპლიციტური დაშვება იყო „დასვრილი ბავშვების“ თავსატეხის აღწერისას), მაგრამ მრავალ კონტექსტში ის აშკარად არაგონივრულია. მე-9 და მე-10 თავებში ჩვენ განვიხილავთ შესაძლო სამყაროთა მოდელის მოდიფიკაციას ისე, რომ ის მიესადაგებოდეს არასრულყოფილი, „არაიდეალური“ მსჯელობის სუბიექტებს.

მკითხველს შეიძლება გაუჩნდეს კითხვა, აქვს თუ არა ჩვენ მიერ განსაზღვრულ ცოდნის ცნებას სხვა მნიშვნელოვანი თვისებებიც, რომლებიც ჯერ არ გვიხსენებია. მართალია, მთელი რიგი დამატებითი თვისებებისა გამომდინარეობს S5-ის საბაზისო თვისებებიდან, მაგრამ, მკაცრად თუ ვიმსჯელებთ, S5-ის თვისებები სრულად აღწერს ცოდნის ჩვენს განსაზღვრებას, ყოველ შემთხვევაში იმდენად, რამდენადაც საქმე K_i ოპერატორებს ეხება. ეს საკითხი დეტალურადაა განხილული მე-3 თავში.

ახლა ჩვენს ყურადღებას მივაპყრობთ E_c , C_c და D_c ოპერატორებს. რადგან $E_c\phi$ ჭეშმარიტია ზუსტად მაშინ, როცა G -ში ყველა აგენტმა იცის ϕ , მივიღებთ

$$\models E_c\phi \Leftrightarrow \bigwedge_{i \in G} K_i\phi.$$

როგორც ადრეც აღვნიშნეთ, შეიძლება ითქვას, რომ ერთობლივი ცოდნა არის ის, რაც „ყველა სულელმა“ იცის. მაშინ არცაა გასაკვირი, რომ ერთობლივი ცოდნას აღმოაჩნდება ცოდნის ყველა თვისება; ცოდნის აქსიომის, დისტრიბუციის აქსიომის, პოზიტიური ინტროსპექციის აქსიომის და ნეგატიური ინტროსპექციის აქსიომის ანალოგიური აქსიომები მართებულია ერთობლივი ცოდნისთვის

(იხ. სავარჯიშო 2.8). ამის გარდა, ადვილი შესამჩნევია, რომ აგენტთა ჯგუფის ერთობლივი ცოდნა გულისხმობს მისი ნებისმიერი ქვეჯგუფის ერთობლივ ცოდნას, ე.ი. $C_e \phi \Rightarrow C_{e'} \phi$ თუ $G \ni G'$ (იხ. ისევ სავარჯიშო 2.8). როგორც აღმოჩნდა, ყველა ეს თვისება გამომდინარეობს ორი სხვა თვისებისგან, რომლებიც ზუსტად გადმოსცემენ ერთობლივი ცოდნის არსს. ახლა ამ თვისებებს განვიხილავთ.

გავიხსენოთ, რომ პირველ თავში განხილულ „დასვრილი ბავშვების“ თავსატეხში ბავშვები p -ს შესახებ ერთობლივ ცოდნას (რომ სულ მცირე ერთ ბავშვს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი) იღებენ იმდენად, რამდენადაც მამის განცხადების შემდეგ აღმოჩნდნენ სიტუაციაში, სადაც ყველა ბავშვმა იცის p -ს შესახებ და ყველა ბავშვმა იცის ისიც, რომ ის არის ასეთ სიტუაციაში. ამ გარემოებას განაზოგადებს უძრავი წერტილის აქსიომა, რომლის თანახმადაც ϕ არის G ჯგუფის ერთობლივი ცოდნა მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ G -ის ყველა წევრმა იცის ϕ და იცის ისიც, რომ ϕ არის ერთობლივი ცოდნა:

$$\models C_e \phi \Leftrightarrow E_e(\phi \wedge C_e \phi).$$

ამდენად, უძრავი წერტილის აქსიომის თანახმად $C_e \phi$ შეიძლება განვიხილოთ ფუნქციის $f(x) = E_e(\phi \wedge x)$ უძრავ წერტილად, რომელიც ფორმულა x -ს გარდასახავს ფორმულაზე $E_e(\phi \wedge x)$. (ამ ინტუიციის ფორმალიზება მოცემულია ქვეთავში 11.5.)

მეორე თვისება გვაძლევს მეთოდს იმის დასადგენად, რომ მოცემულ სტრუქტურაში ერთობლივი ცოდნა არის მართებული.

ყველა M სტრუქტურისთვის, თუ $M \models \phi \Rightarrow E_e(\psi \wedge \phi)$, მაშინ $M \models \phi \Rightarrow C_e \psi$.

ამ წესს ხშირად ინდუქციის წესს უწოდებენ. ამ წესის ქმედითობის დამტკიცების შედეგად აშკარა ხდება, თუ რატომ იძლევა ანტეცედენტი უმთავრეს ინგრედიენტს იმის დასამტკიცებლად k -ზე ინდუქციით, რომ $\phi \Rightarrow E^k(\psi \wedge \phi)$ მართებულია ყველა k -სთვის.

ახლა ფორმალურად დავამტკიცებთ, რომ ეს თვისებები მართლაც ქმედითია E_e და C_e ოპერატორებისთვის.

თეორემა 2.4.2 ყველა ϕ და ψ ფორმულისთვის, ყველა M სტრუქტურისთვის და ყველა არაცარიელი $G \subseteq \{1, \dots, n\}$ -სთვის,

LOGIC

$$(a) M \models E_g \phi \Leftrightarrow \bigwedge_{i \in G} K_i \phi,$$

$$(b) M \models C_g \phi \Leftrightarrow E_g (\phi \wedge C_g \phi),$$

$$(c) \text{თუ } M \models \phi \Rightarrow E_g (\psi \wedge \phi), \text{ მაშინ } M \models \phi \Rightarrow C_g \psi.$$

დამტკიცება

პუნქტი (a) უშუალოდ გამომდინარეობს E_g -ის სემანტიკიდან. დანარჩენი პუნქტების დასამტკიცებლად გამოვიყენებთ ერთობლივი ცოდნის განსაზღვრებას, რომელიც მოცემული იყო ლემა 2.2.1-ში, კერძოდ, $(M, s) \models E_g \phi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, t) \models \phi$ ყველა ისეთი t მდგომარეობისთვის, რომელიც G -მიღწევადია s -იდან. სამომავლოდ აღვნიშნავთ, რომ დამტკიცებაში, რომელსაც ახლა შემოგთავაზებთ, არ გამოიყენება ის ფაქტი, რომ K_i ეკვივალენტობის მიმართებებია; დამტკიცებაში არაფერი შეიცვლებოდა, K_i ნებისმიერი სხვა ბინარული მიმართებაც რომ ყოფილიყო.

(b) პუნქტისთვის დავუშვათ, რომ $(M, s) \models C_g \phi$. ამდენად, $(M, t) \models \phi$ ყველა ისეთი t მდგომარეობისთვის, რომელიც G -მიღწევადია s -იდან. კერძოდ, თუ u G -მიღწევადია s -იდან ერთი ნაბიჯის შედეგად, მაშინ $(M, u) \models \phi$ და $(M, t) \models \phi$ ყველა ისეთი t მდგომარეობისთვის, რომელიც G -მიღწევადია u -იდან. ამგვარად, $(M, u) \models \phi \wedge C_g \phi$ ყველა ისეთი u -სთვის, რომელიც G -მიღწევადია s -იდან ერთი ნაბიჯის შედეგად, ასე რომ, $(M, s) \models E_g (\phi \wedge C_g \phi)$. საპირისპირო იმპლიკაციისთვის დავუშვათ, რომ $(M, s) \models E_g (\phi \wedge C_g \phi)$. დავუშვათ, რომ t არის G -მიღწევადი s -იდან და s' არის s -ის შემდეგ პირველი წვერო s -იდან t -სკენ მიმავალ გზაზე, რომლის ნიბოებიც მარკირებულია G -ს წევრებით. რადგან $(M, s) \models E_g (\phi \wedge C_g \phi)$, აქედან გამომდინარეობს, რომ $(M, s') \models \phi \wedge C_g \phi$. ან $s' = t$, ან t მიღწევადია s' -იდან. პირველ შემთხვევაში, $(M, t) \models \phi$, რადგან $(M, s') \models \phi$, ხოლო უკანასკნელ შემთხვევაში, $(M, t) \models \phi$ ლემა 2.2.1-ისა და იმ ფაქტიდან გამომდინარე, რომ $(M, s') \models C_g \phi$. რადგან $(M, t) \models \phi$ ყველა ისეთი t -სთვის, რომელიც G -მიღწევადია s -იდან, ვასკვნით, რომ $(M, s) \models C_g \phi$.

დაბოლოს, პუნქტ (c)-სთვის დავუშვათ, რომ $M \models \phi \Rightarrow E_g (\psi \wedge \phi)$ და $(M, s) \models \phi$. k -ზე ინდუქციით ვუჩვენებთ, რომ ყველა k -სთვის გვაქვს $(M, t) \models \psi \wedge \phi$ ყველა იმ t -სთვის, რომელიც G -მიღწევადია s -იდან k რაოდენობის ნაბიჯის შედეგად.

ეთქვათ, t არის G -მილწვეადი s -იდან ერთი ნაბიჯის შედეგად; ლემა 2.2.1-ის ძალით მივიღებთ $(M, t) \models \psi \wedge \phi$. თუ $k = k' + 1$, მაშინ არსებობს ისეთი t' , რომ G -მილწვეადი იყოს s -იდან k' რაოდენობის ნაბიჯის შედეგად, ხოლო t G -მილწვეადი იყოს t' -იდან ერთი ნაბიჯის შედეგად. ინდუქციის დაშვების თანახმად, $(M, t') \models \psi \wedge \phi$. ბაზისური შემთხვევის ანალოგიური მსჯელობით ვასკენით, რომ $(M, t) \models \psi \wedge \phi$. ამით სრულდება ინდუქციური დამტკიცება. რამდენადაც $(M, t) \models \psi$ ყველა იმ t მდგომარეობისთვის, რომელიც G -მილწვეადია s -იდან, ვასკენით, რომ $(M, s) \models C_\psi$.

დაბოლოს, განვიხილავთ განაწილებულ ცოდნას. 1-ელ თავში აღვნიშნეთ, რომ განაწილებული ცოდნა შეიძლება განვიხილოთ „ბრძენის“ ცოდნად. ამდენად, გასაკვირი არ უნდა იყოს, რომ განაწილებული ცოდნა ასევე აკმაყოფილებს ცოდნის ყველა თვისებას. განაწილებულ ცოდნას აქვს კიდევ ორი თვისებაც, რომელზეც მოკლედ შევჩერდებით. გასაგებია, რომ ერთნეკრა ჯგუფის განაწილებული ცოდნა იგივეა, რაც უბრალოდ ცოდნა. ამდენად,

$$\models D_{\{i\}}\phi \Leftrightarrow K_i\phi.$$

რაც უფრო დიდია ქვეჯგუფი, მით უფრო დიდია ამ ქვეჯგუფის განაწილებული ცოდნა:

$$\models D_G\phi \Rightarrow D_{G'}\phi \text{ თუ } G \subseteq G'.$$

იმის დამტკიცება, რომ მართებულია განაწილებული ცოდნის ყველა ეს თვისება, არსობრივად 2.4.1 თეორემის დამტკიცების ანალოგიურია და, ამდენად, ამის გაკეთებას მკითხველს ვთავაზობთ (სავარჯიშო 2.10). მე-3 თავში ასევე ვუჩვენებთ, რომ ერთობლივი ცოდნისა და განაწილებული ცოდნის ეს თვისებები სრულად წარმოადგენს ამ ცნებების ყველა რელევანტურ თვისებას.

2.5 მოვლენებზე დაფუძნებული მიდგომა

ცოდნის მოდელირების მეთოდი, რომელიც 2.1 ქვეთავში იყო წარმოდგენილი, ორი კომპონენტისგან შედგება. ის იყენებს კრიპკეს სტრუქტურებს, როგორც მათემატიკურ მოდელს მრავალაგენტიანი სიტუაციებისთვის, და იყენებს ლოგიკურ ენას ასეთი სიტუაციების შესახებ გამონათქვამების

LOGIC

ჩამოსაყალიბებლად. ეს ენა ეფუძნება მარტივი დებულებების სიმრავლეს და ჩაკეტილია ლოგიკური ოპერატორების მიმართ. ამდენად, ცოდნა სინტაქსურად გამოიხატება, ფორმულებზე ლოგიკური ოპერატორების მოქმედებით. ჩვენ ამას ლოგიკაზე დაფუძნებულ მიდგომას ვუნოდებთ. ტრადიციულად სწორედ ეს მიდგომა გამოიყენებოდა ფილოსოფიაში, მათემატიკურ ლოგიკასა და ხელოვნურ ინტელექტში.

ამ ქვეთავში აღვწერთ ცოდნის მოდელირების ალტერნატიულ მეთოდს, რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება თამაშის თეორიასა და მათემატიკურ ეკონომიკაში. ამ მეთოდს *მოვლენებზე დაფუძნებულ მიდგომას* ვუნოდებთ. ლოგიკაზე დაფუძნებული მიდგომისგან ის ორი რამით განსხვავდება. ჯერ ერთი, მოვლენებზე დაფუძნებული მიდგომა კრიპკეს სტრუქტურების ნაცვლად მათემატიკურ მოდელად იყენებს მასთან მჭიდროდ დაკავშირებულ სტრუქტურას, რომელსაც ჩვენ აუჰმანის სტრუქტურებს ვუნოდებთ. მეორეც, და რაც უფრო მნიშვნელოვანია, მოვლენებზე დაფუძნებული მიდგომა, ალბათობის თეორიის მსგავსად, კონცენტრირებულია *ხდომილებებზე*, რომლებიც შესაძლო სამყაროთა სიმრავლეს წარმოადგენენ, და სრულებით არ იყენებს ლოგიკურ ფორმულებს. აქ ცოდნა გამოიხატება მოვლენებზე მოქმედი ოპერატორების საშუალებით. ახლა მიმოვიხილავთ მოვლენებზე დაფუძნებულ მიდგომას და ვიმსჯელებთ მის მჭიდრო კავშირზე ლოგიკაზე დაფუძნებულ მიდგომასთან.

ისევე, როგორც 2.1 ქვეთავში, როცა განვიხილავდით ლოგიკაზე დაფუძნებულ მიდგომას, ამ შემთხვევაშიც დავინყებთ *მდგომარეობათა* სამყარო S -ით. მოვლენა არის მდგომარეობათა სიმრავლე $e \subseteq S$. შეგვიძლია, მაგალითად, ვილაპარაკოთ მოვლენაზე *ლონდონში წვიმს*, რომელიც შეესაბამება იმ მდგომარეობათა სიმრავლეს, რომელ მდგომარეობებშიც ლონდონში წვიმს. ვიტყვით, რომ *მოვლენა e -ს ადგილი აქვს მდგომარეობა s -ში*, თუ $s \in e$. ამგვარად, თუ e_L არის მოვლენა *ლონდონში წვიმს*, მაშინ e_L -ს ადგილი აქვს მდგომარეობა s -ში ზუსტად მაშინ, როცა s არის ერთ-ერთი იმ მდგომარეობებიდან, რომელშიც ლონდონში წვიმს. ორი მოვლენის კონიუნქცია მიიღება მათი თანაკვეთით. მაგალითად, მოვლენა *ლონდონში წვიმს და სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია* არის e_L -ის თანაკვეთა მოვლენასთან *სან-ფრანცისკოში მზიანი ამინდია*. ანალოგიურად, მოვლენის უარყოფა არის მისი დამატება (S -ის მიმართ).

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მოვლენებზე დაფუძნებულ მიდგომაში ფორმალური მოდელის შესაქმნელად გამოიყენება აუმაანის სტრუქტურები. აუმაანის სტრუქტურები არის კრიპკეს სტრუქტურების მსგავსი, მხოლოდ ორი განსხვავებით: პირველი ისაა, რომ აქ არ არის π ფუნქციის ანალოგი, რადგან მოვლენებზე დაფუძნებულ მიდგომაში არ გვაქვს მარტივი დებულებები. მეორე განსხვავება კი ისაა, რომ ბინარული მიმართება K_i -ის ნაცვლად, რომელიც განსაზღვრავდა, თუ რომელ სამყაროებს მიიჩნევდა აგენტი i შესაძლებლად, აუმაანის სტრუქტურებში ყოველი აგენტისთვის არსებობს S -ის დაყოფა P_i (სიმრავლე S -ის დაყოფა არის S -ის ქვესიმრავლეების ისეთი სიმრავლე $\{S_1, \dots, S_r\}$, რომ S_j -ები არიან თანაუკვეთი და მათი გაერთიანება იძლევა S სიმრავლეს.) თუ $P_i = \{S_1, \dots, S_r\}$, მაშინ S_j სიმრავლეებს ეწოდებათ P_i დაყოფის უჯრედები, ან აგენტ i -ის ინფორმაციული სიმრავლეები. ამას საფუძვლად უდევს ის ინტუიცია, რომ თუ S_j არის აგენტ i -ის ინფორმაციული სიმრავლე და თუ $s \in S_j$, მაშინ იმ მდგომარეობების სიმრავლე, რომელსაც აგენტი i შესაძლებლად მიიჩნევს (რომელიც შეესაბამება აგენტ i -ის ინფორმაციას), არის ზუსტად S_j .

ფორმალურად, აუმაანის სტრუქტურა A არის კომპლექსი (S, P_1, \dots, P_n) , სადაც S არის სამყაროს მდგომარეობების სიმრავლე და P_i არის S -ის დაყოფა ყოველი i აგენტისთვის. $P_i(s)$ აღნიშნავს P_i დაყოფის იმ უჯრედს, რომელშიც გვხვდება s . რამდენადაც P_i არის დაყოფა, აქედან გამომდინარეობს, რომ ყოველი i აგენტისა და მდგომარეობათა ყოველი წყვილისთვის $s, t \in S$, გვაქვს ან $P_i(s) = P_i(t)$, ან $P_i(s) \cap P_i(t) = \emptyset$. ინტუიციურად, როცა s, t შედიან აგენტ i -ის ერთსა და იმავე ინფორმაციულ სიმრავლეში, მაშინ s მდგომარეობაში მყოფი აგენტი i შესაძლებლად მიიჩნევს მდგომარეობა t -ს. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, კრიპკეს სტრუქტურებისგან განსხვავებით აუმაანის სტრუქტურებში არ გვხვდება ფუნქცია π , რომელიც S -ში შემავალი ყოველი მდგომარეობისთვის განსაზღვრავს მარტივი დებულებების ჭეშმარიტულ მნიშვნელობებს. (თუ გამოვიყენებთ მომდევნო თავის ტერმინოლოგიას, ეს ნიშნავს, რომ აუმაანის სტრუქტურა არსებითად არის ჩარჩო.)

როგორ განვსაზღვრავთ ცოდნას მოვლენებზე დაფუძნებულ მიდგომაში? რადგან ამ მეთოდში ინტერესის ობიექტები მოვლენებია, არც ის უნდა იყოს გასაკვირი, რომ ცოდნა განისაზღვრება მოვლენების საშუალებით. ფორმალურად, მოცემული აუმაანის სტრუქტურის (S, P_1, \dots, P_n) -ის ფარგლებში

LOGIC

ცოდნის ოპერატორს $K_i: 2^S \rightarrow 2^S$, სადაც $i = 1, \dots, n$, შემდეგნაირად განვსაზღვრავთ:

$$K_i(e) = \{s \in S \mid \mathcal{P}_i(s) \subseteq e\}.$$

$K_i(e)$ აღნიშნავს მოვლენას i -მ იცის e . აქ 2^S არის S -ის ყველა ქვესიმრავლის სიმრავლე. (შევნიშნავთ, რომ ჩვენ ვიყენებთ შრიფტს sans serif ცოდნის ოპერატორ K_i -სთვის განსხვავებით კურსივისგან, რომელსაც ვიყენებთ მოდალურ ოპერატორ K_i -სთვის და ხელნაწერ შრიფტს ბინარული მიმართება \mathcal{K}_i -სთვის.) ადვილი დასანახია, რომ $K_i(e)$ არის აგენტი i -ის იმ ინფორმაციული სიმრავლეების გაერთიანება, რომლებსაც შეიცავს e . ინტუიციურად, აგენტმა i -მ s მდგომარეობაში იცის e , თუ e -ს ადგილი აქვს ყველა იმ მდგომარეობაში, რომელსაც აგენტი i შესაძლებლად მიიჩნევს s მდგომარეობაში (კერძოდ, $\mathcal{P}_i(s)$ -ის ყველა მდგომარეობაში)). ამგვარად, აგენტმა i -მ იცის, რომ იმისდა მიუხედავად, რეალურია თუ არა რომელიმე მდგომარეობა, იქ ადგილი აქვს მოვლენა e -ს.

მოვლენა ჯგუფ G -ში ყველამ იცის e გამოიხატება $E_G: 2^S \rightarrow 2^S$ ოპერატორით, რომელიც ასე განისაზღვრება:

$$E_G(e) = \bigcap_{i \in G} K_i(e).$$

ჩვენ შეგვიძლია გავიმეოროთ ოპერატორი E_G , რათა განვსაზღვროთ $E_G^1(e) = E_G(e)$ და $E_G^{k+1}(e) = E_G(E_G^k(e))$, სადაც $k \geq 1$. ჯგუფ G -ში შემავალი აგენტების ერთობლივი ცოდნა e მოვლენის შესახებ, რომელიც გამოიხატება ფორმულით $C_G(e)$, არის მოვლენა ყველა მოთამაშემ იცის e , ყველამ იცის, რომ ის ყველამ იცის და ა.შ. *ad infinitum*. მისი ფორმალური განსაზღვრაა:

$$C_G(e) = \bigcap_{k=1}^{\infty} E_G^k(e).$$

დაბოლოს, ჯგუფ G -ში შემავალი აგენტების განაწილებული ცოდნა e მოვლენის შესახებ, რომელიც გამოიხატება ფორმულით $D_G(e)$, ასე განისაზღვრება:

$$D_G(e) = \{s \in S \mid (\bigcap_{i \in G} \mathcal{P}_i(s)) \subseteq e\}.$$

ინტუიციურად, მოვლენა e არის განაწილებული ცოდნა, თუ e -ს ადგილი აქვს ყველა იმ მდგომარეობაში, რომლებიც რჩება შესაძლებლად მას შემდეგ, რაც თავს ვუყრით ყველა აგენტის ხელთ არსებულ ინფორმაციას.

თუ გვაქვს სიმრავლე S -ის ორი დაყოფა — \mathcal{P} და \mathcal{P}' , დაყოფა \mathcal{P} -ს ვუნოდებთ

\mathcal{P} -ზე უფრო წვრილს (და \mathcal{P}' -ს \mathcal{P} -ზე უფრო მსხვილს), თუ $\mathcal{P}(s) \subseteq \mathcal{P}'(s)$ მართებულია ყველა $s \in S$ —თვის. ინტუიციურად, თუ დაყოფა \mathcal{P} უფრო წვრილია, ვიდრე დაყოფა \mathcal{P}' , მაშინ \mathcal{P} -ის საშუალებით მიღებული ინფორმაციული სიმრავლეები, სულ მცირე, ისეთივე ოდენობის ინფორმაციას იძლევა, რამდენსაც \mathcal{P}' -ის საშუალებით მიღებული ინფორმაციული სიმრავლეები (რამდენადაც უფრო მცირე რაოდენობის შესაძლო მდგომარეობების განხილვა შეესაბამება უფრო მეტი ინფორმაციის ქონას). \mathcal{P} და \mathcal{P}' დაყოფების თანაკვეთა, რომელიც ასე აღინიშნება — $\mathcal{P} \cap \mathcal{P}'$, არის ყველაზე წვრილი დაყოფა, რომელიც უფრო მსხვილია, ვიდრე \mathcal{P} და \mathcal{P}' ; \mathcal{P} და \mathcal{P}' დაყოფების გაერთიანება, რომელიც აღინიშნება ასე — $\mathcal{P} \sqcup \mathcal{P}'$, არის ყველაზე მსხვილი დაყოფა, რომელიც უფრო წვრილია, ვიდრე \mathcal{P} და \mathcal{P}' ; შემდეგ თეორემაში ჩვენ ვიყენებთ თანაკვეთისა და გაერთიანების ცნებებს, რათა ზუსტად დავახასიათოთ ერთობლივი ცოდნა და განაწილებული ცოდნა.

თეორემა 2.5.1 დავეუშვათ, $A = (S, \mathcal{P}_1, \dots, \mathcal{P}_n)$ არის აუმანის სტრუქტურა, დავეუშვათ, $G \subseteq \{1, \dots, n\}$ არის აგენტების ჯგუფი და დავეუშვათ, $e \in S$. მაშინ

(a) $s \in C_e(e)$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(\prod_{i \in G} \mathcal{P}_i)(s) \subseteq e$.

(b) $s \in D_e(e)$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(\prod_{i \in G} \mathcal{P}_i)(s) \subseteq e$.

დამტკიცება იხ. სავარჯიშო 2.15. ■

აქედან გამომდინარეობს, რომ აგენტების დაყოფების თანაკვეთა განსაზღვრავს მათ ერთობლივ ცოდნას, ხოლო აგენტების დაყოფების გაერთიანება განსაზღვრავს მათ განაწილებულ ცოდნას. შევნიშნავთ, რომ თეორემა 2.5.1 (a) გულისხმობს, რომ იმის დასადგენად, მოცემულ მდგომარეობაში არის თუ არა მოვლენა e ერთობლივი ცოდნა, საკმარისია მარტივად შემოწმდეს, არის თუ არა ჩართვა ორ მკაფიოდ განსაზღვრულ სიმრავლეს შორის; აღარ არის აუცილებელი ერთობლივი ცოდნის განსაზღვრების გამოყენება, რომელიც უსასრულო თანაკვეთას მოიცავს.

ლოგიკაზე დაფუძნებულ მიდგომასა და მოვლენებზე დაფუძნებულ მიდგომას შორის არის მჭიდრო კავშირი, რომლის ფორმალიზებასაც ახლა შემოგთავაზებთ. არსებობს ბუნებრივი ურთიერთცალსახა შესაბამისობა S -ის დაყოფებსა და S -ზე განსაზღვრულ ეკვივალენტობის მიმართებებს შორის. S -ზე მოცემული \mathcal{P}

LOGIC

დაყოფის შესაბამისი ეკვივალენტობის მიმართება \mathcal{R} ასე განისაზღვრება: $(s, s') \in \mathcal{R}$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $\mathcal{P}(s) = \mathcal{P}(s')$. ანალოგიურად, თუ S -ზე მოცემულია ეკვივალენტობის მიმართება, S -ის შესაბამისი დაყოფა $\{S_1, \dots, S_r\}$ მიიღება \mathcal{R} -ის ყოველი ეკვივალენტობის კლასის გარდაქმნით დაყოფის უჯრედ S_j -ად; ანუ ორი მდგომარეობა — s, t — აღმოჩნდება ერთ უჯრედში ზუსტად მაშინ, როცა $(s, t) \in \mathcal{R}$. ამდენად, საკმაოდ ადვილია დაყოფის თვალსაზრისიდან ეკვივალენტობის მიმართებათა თვალსაზრისზე გადასვლა და პირიქით (იხ. სავარჯიშო 2.16).

ახლა დავუშვათ, რომ მოცემულია კრიპკეს სტრუქტურა $M = (S, \pi, K_1, \dots, K_r)$, სადაც ყოველი K_i არის ეკვივალენტობის მიმართება. ჩვენ განვსაზღვრავთ შესაბამის აუმაინის სტრუქტურას $A^M = (S, \mathcal{P}_1, \dots, \mathcal{P}_n)$ (მდგომარეობათა იმავე S სიმრავლით) იმგვარად, რომ \mathcal{P}_i დაყოფას შევუსაბამებთ K_i ეკვივალენტობის მიმართებას. ახლა გვინდა ვაჩვენოთ, რომ M -სა და A^M ერთი და იგივე „სემანტიკა“ აქვთ. M -ში სემანტიკა განისაზღვრება ფორმულების საშუალებით. სტრუქტურა M -ში ფორმულა ϕ -ის მოცულობა, რომელიც ასე გამოიხატება — ϕ^M , არის M -ის იმ მდგომარეობათა სიმრავლე, რომელშიც მართებულია ϕ , ე.ი. $\phi^M = \{s \mid (M, s) \models \phi\}$. A^M -ში სემანტიკა განისაზღვრება მოვლენათა საშუალებით. ყოველ პრიმიტიულ გამონათქვამ p -სთვის განვსაზღვროთ e_p^M როგორც მოვლენა „ p არის ჭეშმარიტი“; ე.ი. $e_p^M = \{s \mid (M, s) \models \phi\}$. ახლა შეგვიძლია ყოველი ფორმულა ϕ -ისთვის განვსაზღვროთ მოვლენა $ev_M(\phi)$ ინდუქციით ϕ -ის სტრუქტურაზე:

- $ev_M(p) = e_p^M$
- $ev_M(\psi_1 \wedge \psi_2) = ev_M(\psi_1) \cap ev_M(\psi_2)$
- $ev_M(\neg\psi) = S - ev_M(\psi)$
- $ev_M(K_i \psi) = K_i(ev_M(\psi))$
- $ev_M(C_G \psi) = C_G(ev_M(\psi))$
- $ev_M(D_G \psi) = D_G(ev_M(\psi))$

ინტუიციურად, $ev_M(\phi)$ არის „მოვლენა, რომ ადგილი აქვს ϕ -ს.“ შემდეგი თეორემა გვიჩვენებს, რომ ეს ინტუიცია სწორია, ე.ი. რომ ფორმულა ϕ მართებულია კრიპკეს M სტრუქტურის s მდგომარეობაში მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $ev_M(\phi)$ მართებულია აუმაინის A^M სტრუქტურის s მდგომარეობაში.

თეორემა 2.5.2 დავეუშვათ, M არის კრიპკეს სტრუქტურა, სადაც ყოველი შესაძლებლობის მიმართება K_i არის ეკვივალენტობის მიმართება და დავეუშვათ, A^M არის შესაბამისი აუმანის სტრუქტურა. მაშინ ყოველი Φ ფორმულისთვის მივიღებთ $ev_M(\Phi) = \Phi^M$.

დამტკიცება იხ. სავარჯიშო 2.17. ■

ჩვენ ახლა ვაჩვენებთ, თუ როგორ უნდა გადავიდეთ კრიპკეს სტრუქტურიდან აუმანის სტრუქტურაზე. რა შეიძლება ითქვას საპირისპირო მიმართულებაზე? ვთქვათ, $A = (S, P_1, \dots, P_n)$ არის აუმანის სტრუქტურა. ჩვენ გვინდა შესაბამისი კრიპკეს $(S, \pi, K_1, \dots, K_n)$ სტრუქტურის განსაზღვრა (მდგომარეობების იმავე S სიმრავლით). არანაირ სირთულეს არ წარმოადგენს K_i -ების განსაზღვრა: K_i -ს უბრალოდ გავაიგივებთ P_i დაყოფის შესაბამის ეკვივალენტობის მიმართებასთან. მაგრამ რჩება მარტივი დებულებების Φ სიმრავლე და π ფუნქცია, რომელიც S -ში ყოველ მდგომარეობას უსადაგებს მარტივი დებულებებისთვის ქეშმარიტული მნიშვნელობის მიწერას. მართალია, აუმანის სტრუქტურა არ გულისხმობს მარტივი დებულებების სიმრავლის არსებობას, მაგრამ კონკრეტულ მაგალითებში საბაზისო მოვლენებს ჩვეულებრივ აქვთ სახელები, მაგ.: „ელისი იგებს თამაშს“ ან „შეთანხმება დადებულა“. ეს სახელები შეიძლება პრიმიტიულ გამონათქვამებადაც განვიხილოთ. ჩვეულებრივ, ისიც ნათელია, თუ რომელ მდგომარეობებში ხდება ეს სახელდებული მოვლენები; ეს კი გვაძლევს π ფუნქციას. ამ ყველაფრის ფორმალიზებისთვის დავეუშვათ, რომ ჩვენს ხელთ არის არამართო აუმანის სტრუქტურა A , არამედ ასევე მარტივი დებულებების ნებისმიერი Φ სიმრავლე და π ფუნქცია, რომელიც S -ში ყოველ მდგომარეობას უსადაგებს Φ -ში შემავალი მარტივი დებულებებისთვის ქეშმარიტული მნიშვნელობის მიწერას. ახლა შეგვიძლია ადვილად ავაგოთ კრიპკეს სტრუქტურა $M^{A,\pi}$, რომელიც შეესაბამება A -სა და π -ს. თუ $A = (S, P_1, \dots, P_n)$, მაშინ $M^{A,\pi} = (S, \pi, K_1, \dots, K_n)$, სადაც K_i არის P_i -ის შესაბამისი დაყოფა და სადაც $i = 1, \dots, n$. ახლა უშუალოდ შეიძლება იმის ჩვენება, რომ $M^{A,\pi}$ -ის შესაბამისი აუმანის სტრუქტურა არის A (იხ. სავარჯიშო 2.18). ამგვარად, 2.5.2 თეორემის ძალით, $M^{A,\pi}$ -ში არსებული ფორმულების მოცულობები და A -ში არსებული ამ ფორმულების შესაბამისი მოვლენები ერთმანეთს ემთხვევა.

თეორემა 2.5.2-ის და იმ მსჯელობით, რომელიც მას წინ უძღოდა, დგინდება

LOGIC

მჭიდრო კავშირი ლოგიკაზე დაფუძნებულ მიდგომასა და მოვლენებზე დაფუძნებულ მიდგომას შორის, რაზეც ადრე მივუთითებდით.

სავარჯიშოები

2.1 დავუშვათ, ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ „დასვრილი ბავშვების“ თავსატეხში ყველა ბავშვი არის ბრმა. როგორი იქნება იმ კრიპკეს სტრუქტურის გრაფიკული გამოსახულება, რომელიც აღწერდა ამ სიტუაციას იქამდე, ვიდრე მამა დაინწყებდა ლაპარაკს? და როგორი იქნება ის მას შემდეგ, რაც მამა დაინწყებს კითხვების დასმას?

***2.2** განვიხილოთ დასვრილი ბავშვების თავსატეხის შემდეგი ვარიანტი. დავუშვათ, რომ ერთობლივი ცოდნაა, რომ ყველა ბავშვი, გარდა (შესაძლოა) ბავშვი 1-ისა, ისმენს მამის ნათქვამს. ამასთან, ვთქვათ, ბავშვებს ადრეც უთამაშიათ მამასთან ეს თამაში და ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ, როცა მამა ლაპარაკობს, ის ამბობს ან „სულ მცირე ერთ თქვენგანს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი“, ან არაფრისმთქმელ ფრაზას, მაგალითად, „რა ტალახიანია ეს მინდორი“. (ამგვარად, ერთობლივი ცოდნაა ის, რომ თუნდაც ბავშვ 1-ს არ გაეგონოს მამის ნათქვამი, მან ის მაინც იცის, რომ მამამ წარმოთქვა ერთ-ერთი ამ ფრაზათაგან.)

- (a) აღწერეთ სიტუაცია (ე.ი. კრიპკეს სტრუქტურა) მამის განცხადების შემდეგ. (მინიშნება: ყოველი შესაძლო სამყარო შეიძლება აღიწეროს $(n+2)$ -ეულით, სადაც n არის ბავშვების საერთო რაოდენობა.) დახაზეთ კრიპკეს სტრუქტურა, თუ $n = 2$.
- (b) შეუძლიათ ბავშვებს გაარკვიონ, არიან თუ არა დასვრილნი? (მინიშნება: თავდაპირველად განიხილეთ შემთხვევა, როცა ბავშვი 1 არ არის ტალახით დასვრილი, შემდეგ განიხილეთ შემთხვევა, როცა ის დასვრილია და ესმის მამის ნათქვამი, და ბოლოს, განიხილეთ შემთხვევა, როცა ის დასვრილია და მამის ნათქვამი არ გაუგია.)
- (c) შეუძლიათ ბავშვებს გაარკვიონ, არიან თუ არა დასვრილი, თუ მამა თავდაპირველად ამბობს: „თქვენგან ორს ან მეტს დასვრილი აქვს შუბლი“?

2.3 გთავაზობთ დასვრილი ბავშვების თავსატეხის კიდევ ერთ ვარიანტს. დავუშვათ, მამა, იმის მაგივრად, რომ თქვას „სულ ცოტა ერთ თქვენგანს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი“, ამბობს „ნომერ 1 ბავშვს დასვრილი აქვს შუბლი“. ძნელი არ უნდა იყოს იმაში დარწმუნება, რომ ახლა ბავშვებს (ბავშვი 1-ის გარდა) აღარ შეეძლებათ გაარკვიონ, აქვთ თუ არა დასვრილი შუბლი. განმარტეთ, რატომაა ასე (კერძოდ, რატომ არ შეუძლიათ ბავშვებს ამ თავსატეხის ამოხსნა ისეთ სიტუაციაში, როცა მათ, ერთი შეხედვით, მეტი ინფორმაცია ეძლევათ). ეს მაგალითი გვიჩვენებს, რომ ამ თავსატეხის კიდევ ერთი დაშვება ისაა, რომ თავსატეხში მოცემულია ყველა რელევანტური ინფორმაცია, კერძოდ, ის, რომ მამა მხოლოდ იმას ამბობს, რომ „სულ ცოტა ერთ თქვენგანს მაინც დასვრილი აქვს შუბლი.“

***2.4** ამ სავარჯიშოში ჩვენ ვახდენთ ტუზების და რვიანების თამაშის ფორმალიზებას, რომელიც მოცემული იყო სავარჯიშოში 1.1.

- (a) როგორი იქნება ამ თავსატეხის შესაძლო სამყაროები, თუ მნიშვნელობა ექნება ბანქოს ფიგურებს? რამდენი შესაძლო სამყარო იქნება ამ შემთხვევაში?
- (b) ახლა დავუშვათ, რომ უგულვებლვყოფთ ფიგურებს (მაგალითად, არ განვასხვავებთ ჩვენს ხელთ არსებულ წყვილს — ჯვრის ტუზსა და გულის ტუზს ყვავის ტუზისა და გული ტუზის წყვილისგან). რამდენი შესაძლო სამყარო იქნება ამ შემთხვევაში? რამდენადაც ამ თავსატეხში ფიგურებს მნიშვნელობა არ აქვთ, მათი იგნორირების შემთხვევაშიც შევძლებთ თავსატეხის ადეკვატურ რეპრეზენტაციას. ამ შემთხვევაში განსახილველი რჩება იმდენად ნაკლები შესაძლო სამყაროები, რომ ნამდვილად ღირს ამის გაკეთება.
- (c) დახაზეთ ამ თავსატეხის აღმწერი კრიპკეს სტრუქტურა.
- (d) განვიხილოთ სავარჯიშო 1.1-ის (a) ნაწილში აღწერილი სიტუაცია. სტრუქტურიდან რომელი ნიბოები გაქრება მას შემდეგ, რაც გაიგებთ, რომ ელისს და ბობს არ შეუძლიათ თავისი ბანქოს გამოცნობა? ახსენით, რატომ არის ახლა მნიშვნელოვანი ვიფიქროთ გამქრალ ნიბოებზე და არა წვეროებზე.
- (e) ახლა განვიხილეთ სიტუაცია, რომელიც აღწერილია სავარჯიშო 1.1-ის (b)

LOGIC

ნანილში და უჩვენეთ, რომელი ნიბოები გაქრება სტრუქტურიდან.

***2.5** ამ სავარჯიშოში მოვახდენთ ბრძენკაცების თავსატეხის ფორმალიზებას, რომელიც მოცემული იყო სავარჯიშოში 1.3.

- (a) განიხილეთ თავსატეხის პირველი ვერსია (როგორც ეს აღწერილია სავარჯიშო 1.3-ის (a) ნანილში). დახაზეთ საწყისი სიტუაციის შესაბამისი კრიპკეს სტრუქტურა. როგორ იცვლება ეს სტრუქტურა მას შემდეგ, რაც პირველი ბრძენი იტყვის, რომ მან არ იცის, რა ფერის ქუდი ახურავს? როგორ იცვლება ის, როცა მეორე ბრძენიც იტყვის, რომ მანაც არ იცის?
- (b) როგორ შეიცვლება კრიპკეს თავდაპირველი სტრუქტურა, თუ მესამე ბრძენი ბრძაა?

2.6 უჩვენეთ, რომ G -მილწვეადობა არის ეკვივალენტობის მიმართება, თუ K მიმართებები რეფლექსური და სიმეტრიულია.

2.7 უჩვენეთ, რომ თუ t არის G -მილწვეადი s -იდან, მაშინ $(M, s) \models_{C_e} \phi$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა $(M, t) \models_{C_e} \phi$, იმ პირობით, რომ K მიმართება არის რეფლექსური და სიმეტრიული.

2.8 თეორემებში 2.4.1 და 2.4.2 მოყვანილი სემანტიკური მსჯელობის ანალოგიური არგუმენტაციით უჩვენეთ, რომ მართებულია ერთობლივი ცოდნის შემდეგი თვისებები:

- (a) $\models (C_e \phi \wedge C_e (\phi \Rightarrow \psi)) \Rightarrow C_e \psi$,
- (b) $C_e \phi \Rightarrow \phi$ (თუ დავუშვებთ, რომ K მიმართებები რეფლექსურია),
- (c) $C_e \phi \Rightarrow C_e C_e \phi$,
- (d) $\neg C_e \phi \Rightarrow C_e \neg C_e \phi$ (თუ დავუშვებთ, რომ K მიმართებები სიმეტრიულია),
- (e) $C_e \phi \Rightarrow C_e \phi$ თუ $G \supseteq G'$.

როგორც სავარჯიშო 3.11-იდან ჩანს, ეს თვისებები ფაქტიურად დამტკიცებადია ცოდნის და ერთობლივი ცოდნის იმ თვისებების საფუძველზე, რომლებიც ამ თავში აღწერეთ.

2.9 უჩვენეთ, რომ თუ $M \models \phi \Rightarrow \psi$, მაშინ

- (a) $M \models K_i \phi \Rightarrow K_i \psi$,
- (b) $M \models C_c \phi \Rightarrow C_c \psi$.

2.10 უჩვენეთ, რომ მართებულია განანილებული ცოდნის შემდეგი თვისებები:

- (a) $(D_c \phi \wedge D_c(\phi \Rightarrow \psi)) \Rightarrow D_c \psi$,
- (b) $D_c \phi \Rightarrow \phi$ (თუ დავუშვებთ, რომ K_c მიმართებები რეფლექსურია),
- (c) $D_c \phi \Rightarrow D_c D_c \phi$ (თუ დავუშვებთ, რომ K_c მიმართებები ტრანზიტულია),
- (d) $\neg D_c \phi \Rightarrow D_c \neg D_c \phi$ (თუ დავუშვებთ, რომ K_c მიმართებები სიმეტრიული და ტრანზიტულია),
- (e) $D_{\{i\}} \phi \Leftrightarrow K_i \phi$,
- (f) $D_c \phi \Rightarrow D_{c'} \phi$ თუ $G \subseteq G'$.

2.11 სემანტიკური არგუმენტების გამოყენებით დაამტკიცეთ, რომ ცოდნა და ერთობლივი ცოდნა დისტრიბუციულია კონიუნქციის მიმართ; ე.ი. დაამტკიცეთ, რომ მართებულია შემდეგი თვისებები:

- (a) $K_i(\phi \wedge \psi) \Leftrightarrow (K_i \phi \wedge K_i \psi)$,
- (b) $C_c(\phi \wedge \psi) \Leftrightarrow (C_c \phi \wedge C_c \psi)$.

ასევე შეიძლება ვუჩვენოთ, რომ ეს თვისებები გამომდინარეობენ ცოდნისა და ერთობლივი ცოდნის ტექსტში აღწერილი თვისებებიდან (სავარჯიშო 3.31).

2.12 დაამტკიცეთ, რომ შემდეგი ფორმულები მართებულია იმ პირობით, რომ K_c მიმართებები ეკვივალენტობის მიმართებებია:

- (a) $\models \neg \phi \Rightarrow K_i \neg K_i \phi$,
- (b) $\models \neg \phi \Rightarrow K_{i_1} \dots K_{i_k} \neg K_{i_k} \dots K_{i_1} \phi$ აგენტების ნებისმიერი i_1, \dots, i_k მიმდევრობისათვის,
- (c) $\models \neg K_i \neg K_i \phi \Leftrightarrow K_i \phi$.

ეს ფორმულები ასევე მტკიცდება S5 თვისებების საფუძველზე, რომლებიც ზემოთ განვიხილეთ; იხ. სავარჯიშო 3.14.

2.13 დავუშვათ, $A = (S, \mathcal{P}_1, \dots, \mathcal{P}_n)$ არის აუმანის სტრუქტურა, დავუშვათ, $G \subseteq \{1, \dots, n\}$. თუ s, t არის მდგომარეობები, ვიტყვი, რომ A -ში t არის G -მიღწევადი

LOGIC

s -იდან, თუ t არის მიღწევადი s -იდან A -ს შესაბამის M^A, π კრიპკეს სტრუქტურაში. დაამტკიცეთ, რომ $t \in (\prod_{i \in G} \mathcal{P}_i)(s)$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ t არის მიღწევადი s -იდან.

2.14 დავუშვათ, $A = (S, \mathcal{P}_1, \dots, \mathcal{P}_n)$ არის აუმანის სტრუქტურა, დავუშვათ, $G \subseteq \{1, \dots, n\}$. დაამტკიცეთ, რომ $t \in (\prod_{i \in G} \mathcal{P}_i)(s)$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ ყოველი i აგენტისთვის $t \in \mathcal{P}_i(s)$.

2.15 დაამტკიცეთ თეორემა 2.5.1. (მინიშნება: შეგიძლიათ პირდაპირ დაამტკიცოთ ან გამოიყენოთ სავარჯიშოები 2.13 და 2.14).

2.16 უჩვენეთ, რომ შესაბამისობა, რომელიც მოცემული იყო დაყოფებსა და ეკვივალენტობის მიმართებებს შორის და შესაბამისობა, განსაზღვრული საპირისპირო მიმართულებით არის ერთმანეთის შებრუნებული. ე.ი. უჩვენეთ, რომ \mathcal{R} არის ეკვივალენტობის მიმართება, რომელიც მიიღება დაყოფა \mathcal{P} -სგან მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ \mathcal{P} არის დაყოფა, რომელიც მიიღება ეკვივალენტობის მიმართება \mathcal{R} -ისგან.

2.17 დავუშვათ, M არის კრიპკეს სტრუქტურა, სადაც ყოველი შესაძლებლობის მიმართება K_i არის ეკვივალენტობის მიმართება და დავუშვათ, A არის შესაბამისი აუმანის სტრუქტურა.

(a) დაამტკიცეთ, რომ

(i) $s \in K_i(\text{ev}(\phi))$ მართებულია A -ში მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ $(M, s) \models K_i \phi$,

(ii) $s \in D_e(\text{ev}(\phi))$ მართებულია A -ში მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ $(M, s) \models D_e \phi$,

(iii) $s \in C_e(\text{ev}(\phi))$ მართებულია A -ში მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ $(M, s) \models C_e \phi$.

(b) გამოიყენეთ (a) თეორემა 2.5.2-ის დასამტკიცებლად.

2.18 უჩვენეთ, რომ აუმანის სტრუქტურა, რომელიც შეესაბამება კრიპკეს M^A, π სტრუქტურას, არის A .

შენიშვნები

მოდალური ლოგიკა ძველ დროში განიხილებოდა რიგი ავტორების მიერ. აღსანიშნავია როგორც არისტოტელეს *De Interpretatione* და *Prior Analytics*, ასევე შუა საუკუნეების ლოგიკოსთა შრომები. თუმცა, როგორც თანამედროვე პერიოდამდე შექმნილი შრომების უმეტესობა, ეს ნაშრომებიც არასიმბოლური იყო და აკლდათ სისტემური მიდგომა. პირველად სიმბოლური და სისტემური მიდგომა გვხვდება **ლუისის** 1912 წლის ნაშრომში, რაც კულმინაციას აღწევს **ლანგფორდთან** ერთად დაწერილ ნიგნში *Symbolic Logic* [Lewis and Langford 1959]. **კარნაპმა** [Carnap 1946, 1947] მოდალობებისთვის სემანტიკის მისანიჭებლად შემოგვთავაზა შესაძლო სამყაროთა გამოყენება. შესაძლო სამყაროთა სემანტიკა შემდგომში დამოუკიდებლად იქნა განვითარებული რიგი ავტორების მიერ; მათ შორის: [Bayart 1958], [Hintikka 1957, 1961], [Kanger 1957b], [Kripke 1959], [Meredith 1956], [Montague 1960] და [Prior 1962] (რომელიც ამ იდეას გიჩს (P.T. Geach) მიაკუთვნებდა), ახლანდელი ფორმა კი მიიღო კრიპკეს ნაშრომში [Kripke 1963a] (რა სახითაც წარმოდგენილია აქ). ჩამოთვლილი ავტორებიდან ბევრმა ასევე შენიშნა, რომ K მიმართებების თვისებების ცვლის შედეგად ჩვენ ვღებულობთ ცოდნის სხვადასხვა თვისებას.

მოდალური ლოგიკის პირველ ნაშრომში განხილული იყო მხოლოდ აუცილებლობისა და შესაძლებლობის მოდალობები. როგორც უკვე აღვნიშნეთ პირველ თავში, ცოდნის სემანტიკის მიღების იდეა ეკუთვნის ჰინტიკას, ვინც პირველმა აღმოაჩინა სექცია 2.4-ში განხილული ცოდნის თვისებები.

კრიპკეს სტრუქტურების ტერმინებში დასვრილი ბავშვების გამოცანის ანალიზი ეკუთვნის **ჰალპერნსა და ვარდის** [Halpern and Vardi 1991a]. აუმანის სტრუქტურები განსაზღვრულია აუმანის მიერ [Aumann 1976]. აუმანი განსაზღვრავს ერთობლივ ცოდნას თანაკვეთის საშუალებით; უფრო კონკრეტულად, აუმანს ეკუთვნის 2.5.1 (ა)-ში მოცემული დაკვირვება. მსგავსი მიდგომა, რომელშიც ცოდნა განისაზღვრება როგორც ოპერატორი მოვლენებზე, შესწავლილია ორლოვსკას მიერ [Orlowska 1989].

LOGIC

ბიბლიოგრაფია:

- Aumann, R. J. (1976). Agreeing to disagree. *Annals of Statistics* 4(6), 1236–1239.
- Barwise, J. (1981). Scenes and other situations. *Journal of Philosophy* 78(7), 369–397.
- Bayart, A. (1958). La correction de la logique modale du premier et second ordre S5. *Logique et Analyse* 1, 28–44.
- Carnap, R. (1946). Modalities and quantification. *Journal of Symbolic Logic* 11, 33–64.
- Carnap, R. (1947). *Meaning and Necessity*. Chicago: University of Chicago Press.
- Carver, M. (1989). Aces and eights. *Discover* (February), 88.
- Clark, H. H. and C. R. Marshall (1981). Definite reference and mutual knowledge. In A. K. Joshi, B. L. Webber, and I. A. Sag (Eds.), *Elements of discourse understanding*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Conway, J. H., M. S. Paterson, and U. S. S. R. Moscow (1977). A headache-causing problem. In J. K. Lenstra et al. (Eds.), *Een pak met een korte broek: Papers presented to H. W. Lenstra on the occasion of the publication of his "Euclidische Getallenlichamen"*. Amsterdam: Private publication.
- Emde Boas, P. van, J. Groenendijk, and M. Stokhof (1980). The Conway paradox: its solution in an epistemic framework. In *Proc. 3rd Amsterdam Montague Symposium*, pp. 87–111. Math. Centrum, Amsterdam. Reprinted by Foris Publications, 1984.
- Gamow, G. and M. Stern (1958). *Puzzle Math*. New York: Viking Press.
- Gardner, M. (1977). The “jump proof” and its similarity to the toppling of a row of dominoes. *Scientific American* 236, 128–135.
- Gardner, M. (1984). *Puzzles From Other Worlds*. New York: Viking Press.
- Gettier, E. (1963). Is justified true belief knowledge? *Analysis* 23, 121–123.
- Halpern, J. Y. (1986). Reasoning about knowledge: an overview. In *Theoretical Aspects of Reasoning about Knowledge: Proc. 1986 Conference*, pp. 1–17. Reprinted in *Proc. National Computer Conference*, 1986, pp. 219–228.
- Halpern, J. Y. (1987). Using reasoning about knowledge to analyze distributed systems. In J. F. Traub, B. J. Grosz, B.W. Lampson, and N. J. Nilsson (Eds.), *Annual Review of Computer Science, Volume 2*, pp. 37–68. Palo Alto, Calif.: Annual Reviews Inc.

- Halpern, J. Y. (1995). Reasoning about knowledge: a survey. In D. M. Gabbay, C. J. Hogger, and J. A. Robinson (Eds.), *Temporal and Epistemic Reasoning*, Volume 4 of *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*, pp. 1–34. Oxford, U.K.: Oxford University Press.
- Halpern, J. Y. and Y. Moses (1990). Knowledge and common knowledge in a distributed environment. *Journal of the ACM* 37(3), 549–587. A preliminary version appeared in *Proc. 3rd ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, 1984.
- Halpern, J. Y. and M. Y. Vardi (1991). Model checking vs. theorem proving: a manifesto. In V. Lifschitz (Ed.), *Artificial Intelligence and Mathematical Theory of Computation (Papers in Honor of John McCarthy)*, pp. 151–176. San Diego, Calif.: Academic Press.
- Hintikka, J. (1957). Quantifiers in deontic logic. *Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Humanarum Literarum* 23(4), 1–23.
- Hintikka, J. (1961). Modalities and quantification. *Theoria* 27(61), 119–128.
- Hintikka, J. (1962). *Knowledge and Belief*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.
- Kanger, S. (1957b). *Provability in Logic*. Stockholm Studies in Philosophy I.
- Kripke, S. (1959). A completeness theorem in modal logic. *Journal of Symbolic Logic* 24, 1–14.
- Kripke, S. (1963a). Asemantic analysis of modal logic I: normal modal propositional calculi. *Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik* 9, 67–96. Announced in (1959) *Journal of Symbolic Logic* 24, 323.
- Lehmann, D. (1984). Knowledge, common knowledge, and related puzzles. In *Proc. 3rd ACM Symp. on Principles of Distributed Computing*, pp. 62–67.
- Lenzen, W. (1978). Recent work in epistemic logic. *Acta Philosophica Fennica* 30, 1–219.
- Lewis, D. (1969). *Convention, A Philosophical Study*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- McCarthy, J., M. Sato, T. Hayashi, and S. Igarishi (1979). On the model theory of knowledge. Technical Report STAN-CS-78-657, Stanford University.
- Meredith, C. A. (1956). Interpretations of different modal logics in the “property calculus”, mimeographed manuscript, Philosophy Department, Canterbury University College (recorded and expanded by A. N. Prior).

LOGIC

- Meyer, J.-J. C., W. van der Hoek, and G. A. W. Vreeswijk (1991a). Epistemic logic for computer science: a tutorial (Part I). *EATCS Bulletin 44*, 242–270.
- Meyer, J.-J. C., W. van der Hoek, and G. A. W. Vreeswijk (1991b). Epistemic logic for computer science: a tutorial (Part II). *EATCS Bulletin 45*, 256–287.
- Montague, R. (1960). Logical necessity, physical necessity, ethics, and quantifiers. *Inquiry 4*, 259–269.
- Moses, Y. (1992). Knowledge and communication (a tutorial). In *Theoretical Aspects of Reasoning about Knowledge: Proc. Fourth Conference*, pp. 1–14.
- Moses, Y., D. Dolev, and J. Y. Halpern (1986). Cheating husbands and other stories: a case study of knowledge, action, and communication. *Distributed Computing 1*(3), 167–176.
- Orlowska, E. (1989). Logic for reasoning about knowledge. *Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik 35*, 559–572.
- Parikh, R. (1990). Recent issues in reasoning about knowledge. In *Theoretical Aspects of Reasoning about Knowledge: Proc. Third Conference*, pp. 3–10.
- Parikh, R. (1992). Finite and infinite dialogues. In Y. N. Moshovakis (Ed.), *Logic from Computer Science, MSRI Publication No. 21*, pp. 481–497. Berlin/New York: Springer-Verlag.
- Perrault, C. R. and P. R. Cohen (1981). It's for your own good: a note on inaccurate reference. In A. K. Johsi, B. L. Webber, and I. A. Sag (Eds.), *Elements of discourse understanding*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Prior, A. N. (1962). Possible worlds (idea attributed to P. T. Geach). *Philosophical Quarterly 12*, 36–43.
- Wright, G. H. von (1951). *An Essay in Modal Logic*. Amsterdam: North-Holland.

მთარგმნელი ლადო ლეკიაშვილი
რედაქტორი ლევან ურიდია

ON RESOURCES AND TASKS

Giorgi Japaridze

Department of Computing Sciences, Villanova University,
800 Lancaster Avenue, Villanova, PA 19085, USA

Abstract

Essentially being an extended abstract of the author’s 1998 PhD thesis, this paper introduces an extension of the language of linear logic with a semantics which treats sentences as *tasks* rather than true/false statements. A resource is understood as an agent capable of accomplishing the task expressed by such a sentence. It is argued that the corresponding logic can be used as a planning logic, whose advantage over the traditional comprehensive planning logics is that it avoids the representational frame problem and significantly alleviates the inferential frame problem.

Dedicated to the dear memory of **Leri Mchedlishvili** (1936-2013) and **Michael Bezhanishvili** (1934-2014): my first teachers of logic, colleagues, and prominent figures in Georgian science and education.

1 Introduction

This paper is being revived after having been frozen, in an unfinished form, for more than a decade. It is essentially an extended abstract of the author’s 1998 dissertation [10]. For “historical” considerations, its original style and language are almost fully preserved.

Since the birth of Girard’s [5] linear logic, the topic of substructural logics, often called “resource logics”, has drawn the attention of many researchers, with various motivations and different traditions.¹ The common feature of these logics is that they are sensitive with respect to the number of occurrences of subformulas in a formula or a sequent, the most demonstrative example of which is the failure of the classical principles

$$A \rightarrow A \& A$$

and

$$\frac{A \rightarrow B \quad A \rightarrow C}{A \rightarrow B \& C}$$

as a result of removing the rule of contraction from classical sequent calculus.

The philosophy behind this approach is that if formulas are viewed as resources, the conjunction is viewed as an operator which “adds up” resources and the implication is viewed as an operator which converts one resource (the antecedent) into another (the consequent), then $A \& A$ is generally stronger than A , and $A \rightarrow (B \& C)$ is stronger than $(A \rightarrow B) \& (A \rightarrow C)$. For example, \$1&\$1 should be understood as being equivalent to \$2 rather than \$1, so

¹An extensive survey of substructural logics can be found in [4].

LOGIC

that $\$1 \rightarrow (\$1 \& \$1)$ is not valid; one cannot get both a can of Coke and a sandwich for $\$1$ even if each of them costs a dollar, so

$$\frac{\$1 \rightarrow \textit{coke} \quad \$1 \rightarrow \textit{sandwich}}{\$1 \rightarrow (\textit{coke} \& \textit{sandwich})}$$

fails, too.

Although this kind of resource philosophy seems intuitively very clear, natural and appealing, it has never been fully formalized, and substructural logics owe their name “resource logics” mostly to certain syntactic features rather than some strict and, at the same time, intuitively convincing resource semantics behind them. The present work is an attempt to develop such a semantics.

1.1 Resources, informally

The simplest type of resources, which we call *unconditional resources*, consist of 2 components: *effect* and *potential*. Effect is the process associated with and supported by the resource, and potential is the set of resources into which the resource can be converted at the owner’s wish. The effect of the resource “My car in my driveway” is the process “my car is in my driveway”, and its potential, at a high level of abstraction, is {“My car on the Ross bridge”, “My car on the Franklin Bridge”, “My car at the airport”,...}. For some resources, such as $2 \times 2 = 4$, the potential can be empty. And some resources can be “effectless” — their value is associated only with the resources into which they can be converted. Money can be viewed as an example of such a resource: its value is associated only with its convertibility into “real” things.

The elements of the potential can be viewed as the *commands* that the resource accepts from its owner. My computer, when it is shut down, maintains the process “the screen is dark” as its effect. In this state it accepts only one command: “start”. After this command is given, it turns into another resource, — let us say “another resource” rather than “another state”, — whose effect is “the initial menu is on the screen” and whose potential consists of the commands “Word Processor”, “Games”, “Netscape”, “Telnet”,... When I give one of these commands, it turns yet into a new resource, etc.

It might be helpful to think of resources as *agents* carrying out certain *tasks* for us. Mathematically, task is a synonym of resource, and which of these two words we use, depends on the context. Between agents a master-slave (ownership) relationship can hold. What is a task for the slave, is a resource for the master.

Thus, intuitively, an unconditional resource is an agent which maintains a certain process (its effect) and also accepts commands (elements of its potential) from its master and executes them, where executing a command means turning into a certain new resource.

1.2 Resource conjunction

Let us consider some more precise examples. Let Φ be an agent which writes in memory location $L1$ any number we tell it to write, and then keeps this number there until we give it a new command of the same type again, and so on. Initially, this resource maintains the value 0 in $L1$.

This is an example of an inexhaustible resource — it can execute our commands as many times as we like.

Consider another agent Ψ which writes in location $L2$, when we give it such a command, the factorial of the current value of $L1$, and keeps that number there (even if the value of $L1$ changes meanwhile) until we give it a new command of the same type. Unlike Φ , this resource accepts only one command, even though, again, infinitely many times. Initially it keeps the value 0 in $L2$.

We denote the conjunction operator for resources by $\dot{\wedge}$. What would $\Psi \dot{\wedge} \Phi$ mean? Intuitively, having the conjunction of two agents means having them both as independent

resources, so that we can use each of them as we wish, without affecting our ability to use the other. Initially this resource maintains the value 0 in locations $L1$ and $L2$. In every state, it accepts two types of commands: 1) Write in $L2$ and maintain there the factorial of the current value of $L1$ (only one command), and 2) Write in $L1$ and maintain there number n (one command per number).

1.3 Conditional resources

Both Ψ and Φ , as well as their conjunction $\Psi \dot{\wedge} \Phi$, are examples of unconditional resources: they maintain their effects and execute commands unconditionally, without asking anything in return. However, in real life, most resources are *conditional*. My car can travel, but now and then it will require from me to fill up its tank; my computer will copy any file to a floppy disk, but only if I execute its countercommand “Insert a floppy disk into drive A”.

We use the symbol $\dot{\rightarrow}$ to build expressions for conditional resources. Having the resource $\Theta_1 \dot{\rightarrow} \Theta_2$ means that I can make it work as Θ_2 if I can give to it the resource Θ_1 . It is not necessary to actually assign some agent accomplishing Θ_1 to it. I can assign to it a “virtual Θ_1 ”, which means that all I need in order to make this conditional resource work as Θ_2 is to execute every command it issues for Θ_1 . So, $\Theta_1 \dot{\rightarrow} \Theta_2$ can be seen as a resource which consumes the resource Θ_1 and produces the resource Θ_2 , or converts the resource Θ_1 into Θ_2 .

Consider one more unconditional resource, Γ , which writes in memory location $L2$ the factorial of any number we give to it, and maintains it there until it gets a new command of the same type. Just like Ψ , initially it maintains 0 in $L2$.

Can I accomplish Γ as a task? Generally — not. Even if I can compute factorials in my head, I may not have writing access to location $L2$ after all, or I may have this access but some other agent can have that kind of access, too, and can overwrite the number I needed to maintain in $L2$.

However, if the resources Φ and Ψ are at my disposal, then I can carry out Γ . Whatever number my master gives me, I first make Φ write it in $L1$, and then make Ψ write and maintain its factorial in $L2$. So, I cannot accomplish the task Γ , but I can accomplish the task

$$\Phi \dot{\wedge} \Psi \dot{\rightarrow} \Gamma,$$

which is an example of a conditional resource.

If we go to lower levels of abstraction, it may turn out that, say, Ψ , itself, is (the consequent of) a conditional resource. It may require some memory space, ability to write and read and perform some arithmetic operations there, etc. Let us denote this resource, — the resource required by Ψ to function successfully, — by Δ . In that case, the resource I possess is

$$\Phi \dot{\wedge} (\Delta \dot{\rightarrow} \Psi)$$

rather than $\Phi \dot{\wedge} \Psi$. I have no reason to assume that I can carry out Γ now. However, I can carry out

$$(\Delta \dot{\wedge} \Phi \dot{\wedge} (\Delta \dot{\rightarrow} \Psi)) \dot{\rightarrow} \Gamma.$$

Because I can use the conjunct Δ to do whatever $(\Delta \dot{\rightarrow} \Psi)$ wants from its Δ , and thus make that conditional resource work as Ψ .

What if Φ , too, requires Δ as a resource? That is, can I successfully handle the task

$$(\Delta \dot{\wedge} (\Delta \dot{\rightarrow} \Phi) \dot{\wedge} (\Delta \dot{\rightarrow} \Psi)) \dot{\rightarrow} \Gamma?$$

No, even though, by classical logic, the above formula follows from

$$(\Delta \dot{\wedge} \Phi \dot{\wedge} (\Delta \dot{\rightarrow} \Psi)) \dot{\rightarrow} \Gamma.$$

I cannot, because I have only one Δ while I need two. What if the two conditional agents $\Delta \dot{\rightarrow} \Phi$ and $\Delta \dot{\rightarrow} \Psi$ issue conflicting commands for Δ ? For example, the first one may require to write in a certain location $L3$ the number 13 and maintain it there, while the other needs 14 to be maintained in that location? One location cannot keep two different values. In other words, Δ could serve one master, but it may not be able to please two bosses simultaneously. And not only because conflicting commands may occur. Certain resources can execute certain commands only once or a limited number of times. A kamikaze can attack any target, and the commands “attack A” and “attack B” are not logically conflicting; however, I cannot carry out the task of 2 kamikazes if I only have 1 kamikaze at my command: after making him attack A, he will be gone.

This is where linear-logic-like effects start to kick in. As we have just observed, the principle $\Theta \dot{\rightarrow} \Theta \dot{\wedge} \Theta$ is not valid. On the other hand, all the principles of linear logic + weakening are valid.

1.4 More on our language

In addition to $\dot{\rightarrow}$ and $\dot{\wedge}$, we need many other connectives to make our language sufficiently expressive. When we described Φ and Ψ , we just used English. But our formal language should be able to express all that in formulas. In fact the language is going to be much more expressive than the language of linear logic.

The formulas of our language are divided into 3 categories/levels: facts, processes, and resources. Each level has its own operators and may use lower-level expressions as subexpressions.

Facts are nothing but classical first order formulas, with their usual semantics. We use the standard Boolean connectives and quantifiers (without dots over them) to build complex facts from simpler ones.

We assume that *time* is a linear order of *moments*, with a beginning but no end. An *interval* is given by a pair (i, j) , where i is a time moment and j is either a greater time moment or ∞ .

While facts are true or false at time moments, *processes* are true or false on intervals.

The Boolean connectives and quantifiers are applicable to processes, too. To indicate that they are process operators, we place one dot over them. $\alpha \dot{\wedge} \beta$, where α and β are processes, is the process which is true on an interval if and only if both α and β are true on that interval. The meaning of the other “dotted” connectives ($\dot{\rightarrow}$, $\dot{\neg}$, $\dot{\vee}$, ...) should also be clear. They behave just like classical connectives, — all the classical tautologies, with dots over the operators, hold for processes, too. But, as we have already noted, this is not the case for resources.

Here are some other process operators:

$\uparrow A$, where A is a fact, is a process which holds on an interval iff A is true at every moment of the interval except, perhaps, its first moment.

$\angle A$, where A is a fact, is true on an interval iff A is true at the first moment of the interval.

$\alpha \triangleright \beta$, where α and β are resources, is true on an interval iff α holds on some initial segment of the interval and β holds on the rest of the interval; in other words, if the process α switches to the process β at some internal moment of the interval.

As for the resource level expressions, they, too, use classical operators, with a double dot over them. We have already seen the intuitive meaning of two of them, $\dot{\wedge}$ and $\dot{\rightarrow}$. The other basic resource-building operator is \gg . The expression

$$\alpha \gg (\Delta_1, \dots, \Delta_n),$$

where α is a process and the Δ_i are resources, stands for the resource whose effect is α and

whose potential is $\{\Delta_1, \dots, \Delta_n\}$. The expression

$$\alpha \gg x\Delta(x)$$

is used to express resources with possibly infinite potentials: the potential of this resource is $\{\Delta(a) : a \in D\}$, where D is the domain over which the variable x ranges.

To be able to express infinite resources such as Φ and Ψ (Figures 1 and 2), we also need to allow recursively defined expressions. Let

$$\Phi' := \gg x \left((\uparrow L1(x)) \Phi' \right)$$

and

$$\Psi' := \gg \left((\exists x (\mathcal{L}(L1(x) \wedge \uparrow L2(!x)) \Psi')) \right).$$

Then, resource Φ can be expressed by $(\uparrow L1(0))\Phi'$ and resource Ψ can be expressed by $(\uparrow L2(0))\Psi'$.

For readers familiar with linear logic, we will note that \gg is in fact a generalization of the additive conjunction or quantifier (while $\dot{\wedge}$ and $\dot{\rightarrow}$ correspond to the multiplicative conjunction and implication). The generalization consists in adding one more parameter, α , to this sort of conjunction. The standard linear-logic additive conjunction should be viewed as a special case of \gg -formulas where the left argument of \gg is a trivial process, such as $\uparrow \top$.

The semantics of \gg is that it is a “manageable \triangleright ”. If in $\alpha \triangleright \beta$ the transfer from α to β happens “by itself” at an arbitrary moment, in the case of $\alpha \gg (\Psi_1, \dots, \Psi_n)$ the transfer from α to the effect of Ψ_i happens according to our command. But at what moment should this transfer occur? If we assume that exactly at the moment of giving the command, then even the principle $\Delta \dot{\rightarrow} \Delta$ can fail, because execution of a command, or passing the command which I receive in the right Δ to the left Δ always takes time. Hence, we assume the following protocol for $\alpha \gg (\Psi_1, \dots, \Psi_n)$: at some time moment t and some $1 \leq i \leq n$, master decides to issue the command

$$DO(\Psi_i).$$

Then, at some later moment t' , slave is expected to explicitly report an execution of this command:

$$DONE(\Psi_i).$$

The transfer from α to the effect of Φ_i is assumed to take place at some moment between t and t' .

For potential real-time applications, we may want to introduce a deadline parameter for \gg :

$$\alpha \gg^t (\Phi_1, \dots, \Phi_n).$$

This means that at most time t should elapse between “DO” and “DONE”. Another operator for which we might want to introduce a real-time parameter is \triangleright : $\alpha \triangleright^t \beta$ is a process which is true on an interval (i, j) iff there is e with $i < e \leq i + t < j$ such that α is true on (i, e) and β is true on (e, j) . We leave exploring this possibility for the future, and the formal definitions of our language and semantics the reader will find in the later sections deal only with the non-real-time version.²

²The reader will also find that the language which we described here is a slightly simplified version of our real formalism.

LOGIC

1.5 Our logic as a planning logic

Later sections contain examples showing how our logic can be used as a planning logic. A planning problem is represented as $\Delta \dashv\vdash \Gamma$, where Γ is a specification of the goal as a task, and Δ is the conjunction of the resources we possess. An action is understood as giving a command to one of these resources or, — at a higher level of abstraction, — assigning one resource to another, conditional, resource. Hence, actions change only those (sub)resources to which they are applied. The effect of an action for the rest of the resources is “no change”, and it is this property that makes the logic frame-problem-free. Some examples also show how our logic can naturally handle certain planning problems which, under the traditional approach, would require special means for representing knowledge.

2 Facts

The components of our language, shared by all three types of expressions (facts, processes and resources), are *variables* and *constants*. The set of variables is infinite. The set of constants may be finite or infinite. For now, we will make a simplifying assumption that the set of constants is $\{0, 1, 2, \dots\}$. The set of *terms* is the union of the set of variables and the set of constants.

We also have a set of *fact letters* (called predicate letters in classical logic), with each of which is associated a natural number called *arity*.

Facts are the elements of the smallest set F of expressions, such that, saying “ A is a fact” for “ $A \in F$ ”, we have:

- \perp is a fact;
- if P is an n -ary fact letter and t_1, \dots, t_n are terms, then $P(t_1, \dots, t_n)$ is a fact;
- if A and B are facts, then $(A) \rightarrow (B)$ is a fact;
- if A is a fact and x is a variable, then $\forall x(A)$ is a fact.

As we see, facts are nothing but formulas of classical first order logic. In the sequel, we will often omit some parentheses when we believe that this does not lead to ambiguity.

The other classical operators are introduced as standard abbreviations:

- $\neg A = A \rightarrow \perp$;
- $A \vee B = (\neg A) \rightarrow B$;
- $A \wedge B = \neg(\neg A \vee \neg B)$;
- $A \leftrightarrow B = (A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A)$;
- $\top = \neg \perp$;
- $\exists x A = \neg \forall x \neg A$.

A *free variable* of a fact is a variable x which has an occurrence in the fact which is not in the scope of $\forall x$ (not *bound* by \forall). A fact is *closed*, if it has no free variables.

A *situation* is a set s of closed facts such that, using the expression $s \models A$ for $A \in s$, we have:

- $s \not\models \perp$;
- $s \models A \rightarrow B$ iff $s \not\models A$ or $s \models B$;
- $s \models \forall x A(x)$ iff $s \models A(a)$ for every constant a .

If $s \models A$, we say that A is *true*, or *holds* in situation s .

We fix an infinite set \mathcal{T} of *time moments* together with a strict linear ordering relation $<$ on it. $i \leq j$, as one can expect, means $i < j$ or $i = j$. We assume that $0 \in \mathcal{T}$ and, for all $i \in \mathcal{T}$, $0 \leq i$.

\mathcal{T}^+ denotes the set $\mathcal{T} \cup \{\infty\}$. The ordering relation $<$ is extended to \mathcal{T}^+ by assuming that for all $t \in \mathcal{T}$, $t < \infty$.

An *interval* is a pair (i, j) , where $i \in \mathcal{T}$, $j \in \mathcal{T}^+$ and $i < j$.

A *world* is a function W which assigns to every time moment $i \in \mathcal{T}$ a situation $W(i)$.

3 Processes

This section contains formal definitions for the syntax and the semantics of the process level of our language. The reader can be advised to go back to page 4 to refresh their memory regarding the intuition and the motivation behind the key process operators introduced below. Some later sections — first of all, Section 7, — contain examples that could also help the reader to better understand our formalism in action.

The same applies to the next section, where we give formal definitions for the resource level, the motivation and intuition being explained in the introductory section.

Definition 3.1 The set of *finitary processes* is the smallest set FP of expressions such that, saying “ α is a finitary process” for “ $\alpha \in FP$ ”, we have:

1. if A is a fact, then $\angle A$ is a finitary process;
2. if A is a fact, then $\uparrow A$ is a finitary process;
3. if A is a fact, then $\uparrow\uparrow A$ is a finitary process;
4. if A is a fact, then $\square A$ is a finitary process;
5. if α and β are finitary processes, then so is $\alpha \dot{\rightarrow} \beta$;
6. if α is a finitary process and x is a variable, then $\dot{\forall} x \alpha$ is a finitary process;
7. if α and β are finitary processes, then so is $\alpha \triangleright \beta$;
8. if α is a finitary process, then so is $[\triangleright] \alpha$;
9. if α is a finitary process, then so is $[\triangleright] \alpha$.

Some other process operators are introduced as abbreviations:

- $\dot{\perp} = \square \perp$;
- $\dot{\top} = \angle \top$;
- $\dot{\neg} \alpha = \alpha \dot{\rightarrow} \perp$;
- $\alpha \dot{\vee} \beta = (\dot{\neg} \alpha) \dot{\rightarrow} \beta$;
- $\alpha \dot{\wedge} \beta = \dot{\neg}(\dot{\neg} \alpha \dot{\vee} \dot{\neg} \beta)$;
- $\alpha \dot{\leftrightarrow} \beta = (\alpha \dot{\rightarrow} \beta) \dot{\wedge} (\beta \dot{\rightarrow} \alpha)$;
- $\dot{\exists} x \alpha = \dot{\neg} \dot{\forall} x \dot{\neg} \alpha$;
- $\dot{\uparrow} \alpha = \angle \alpha \dot{\wedge} \uparrow \alpha$;

LOGIC

- $\Downarrow \alpha = \angle \alpha \wedge \Uparrow \alpha$;
- $\alpha \supseteq \beta = \alpha \dot{\vee} (\alpha \triangleright \beta)$.

A *closed process* is a process in which every variable is bound by \forall or $\dot{\vee}$.

Definition 3.2 *Truth* of a closed finitary process γ on an interval (i, j) in a world W , symbolically $W \models_{i,j} \gamma$, is defined as follows:

- $W \models_{i,j} \angle A$ iff $W(i) \models A$;
- $W \models_{i,j} \Uparrow A$ iff for all $r \in \mathcal{T}$ with $i < r < j$, $W(r) \models A$;
- $W \models_{i,j} \Uparrow A$ iff for all $r \in \mathcal{T}$ with $i < r \leq j$, $W(r) \models A$;
- $W \models_{i,j} \Box A$ iff for all $r \in \mathcal{T}$, $W(r) \models A$;
- $W \models_{i,j} \alpha \rightarrow \beta$ iff $W \not\models_{i,j} \alpha$ or $W \models_{i,j} \beta$;
- $W \models_{i,j} \dot{\forall} x \alpha(x)$ iff for every constant a , $W \models_{i,j} A(a)$;
- $W \models_{i,j} \alpha \triangleright \beta$ iff there is e with $i < e < j$ such that $W \models_{i,e} \alpha$ and $W \models_{e,j} \beta$;
- $W \models_{i,j} [\triangleright] \alpha$ iff there are $e_0, e_1, e_2, \dots \in \mathcal{T}$ with $e_0 = i$, $e_0 < e_1 < e_2 < \dots < j$ such that for every k , $W \models_{e_k, e_{k+1}} \alpha$;
- $W \models_{i,j} [\supseteq] \alpha$ iff $W \models_{i,j} [\triangleright] \alpha$ or there are $e_0, \dots, e_n \in \mathcal{T}^+$ such that $e_0 = i$, $e_n = j$ and, for every k : $0 \leq k < n$, $W \models_{e_k, e_{k+1}} \alpha$.

When we later define a semantics for resources, we will also have to deal with infinite process expressions.

Definition 3.3 An *infinitary process* is defined by replacing in the definition of finitary process the word “finitary” by “infinitary” and adding the following 3 clauses:

- if $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots$ are infinitary processes, then so is $\alpha_0 \dot{\wedge} \alpha_1 \dot{\wedge} \alpha_2 \dot{\wedge} \dots$;
- if $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots$ are infinitary processes and $k_1, k'_1, k_2, k'_2, \dots \in \mathcal{T}$, $k_1 < k'_1 < k_2 < k'_2 < \dots$, then $\alpha_0 \rightsquigarrow_{k_1}^{k'_1} \alpha_1 \rightsquigarrow_{k_2}^{k'_2} \alpha_2 \dots$ is an infinitary process;
- if $\alpha_0, \dots, \alpha_n$ ($n \geq 1$) are infinitary processes and $k_1, k'_1, \dots, k_n, k'_n \in \mathcal{T}$, $k_1 < k'_1 < \dots < k_n < k'_n$, then $\alpha_0 \rightsquigarrow_{k_1}^{k'_1} \dots \rightsquigarrow_{k_n}^{k'_n} \alpha_n$ is an infinitary process.

Thus, every finitary process is, at the same time, an infinitary process, but not vice versa. We will use the common name “process” for both types of processes.

Definition 3.4 To get the definition of *truth* for closed infinitary processes, we replace the word “finitary” by “infinitary” in Definition 3.2 and add the following 3 clauses:

- $W \models_{i,j} \alpha_0 \dot{\wedge} \alpha_1 \dot{\wedge} \alpha_2 \dot{\wedge} \dots$ iff for every k , $W \models_{i,j} \alpha_k$;
- $W \models_{i,j} \alpha_0 \rightsquigarrow_{k_1}^{k'_1} \alpha_1 \rightsquigarrow_{k_2}^{k'_2} \alpha_2 \dots$ iff there are $e_0, e_1, e_2, \dots \in \mathcal{T}$ such that $e_0 = i$ and, for each $m \geq 1$ we have $k_m < e_m < k'_m$ and $W \models_{e_{m-1}, e_m} \alpha_{m-1}$.
- $W \models_{i,j} \alpha_0 \rightsquigarrow_{k_1}^{k'_1} \dots \rightsquigarrow_{k_n}^{k'_n} \alpha_n$ iff there are $e_0, \dots, e_{n+1} \in \mathcal{T}$ such that $e_0 = i$, $e_{n+1} = j$, for each m : $1 \leq m \leq n$ we have $k_m < e_m < k'_m$ and, for each m : $1 \leq m \leq n+1$ we have $W \models_{e_{m-1}, e_m} \alpha_{m-1}$.

Definition 3.5 A closed process is said to be *valid* iff it is true on every interval of every world.

Here are some simple observations (all processes are assumed to be closed):

All processes of the form of a classical tautology, such as, say, $\alpha \dot{\vee} \dot{\neg} \alpha$ or $\alpha \dot{\rightarrow} \alpha \dot{\wedge} \alpha$, are valid.

$(\uparrow A \dot{\wedge} \uparrow B) \leftrightarrow \uparrow (A \dot{\wedge} B)$ is valid.

$(\angle A \dot{\vee} \angle B) \leftrightarrow \angle (A \dot{\vee} B)$ is valid.

$(\uparrow A \dot{\vee} \uparrow B) \dot{\rightarrow} \uparrow (A \dot{\vee} B)$ is valid, but $\uparrow (A \dot{\vee} B) \dot{\rightarrow} (\uparrow A \dot{\vee} \uparrow B)$ is not.

\triangleright is associative: $(\alpha \triangleright (\beta \triangleright \gamma)) \leftrightarrow ((\alpha \triangleright \beta) \triangleright \gamma)$ is valid.

4 Resources

At this level of the language we have 3 sorts of expressions: resources, DO-resources and DONE-resources. We define them simultaneously:

Definition 4.1

1. A *DO-resource* is an expression $\gg x_1, \dots, x_m(\Phi_1, \dots, \Phi_n)$ ($m \geq 0$, $n \geq 0$), where the x_i are variables and the Φ_i are DONE-resources. If $n = 1$, we can omit the parentheses and write just $\gg x_1, \dots, x_m \Phi$; if $n = 0$, we write just \gg .
2. A *DONE-resource* is an expression $\ll x_1, \dots, x_m(\Phi_1, \dots, \Phi_n)$ ($m \geq 0$, $n \geq 1$), where the x_i are variables and the Φ_i are resources. If $n = 1$, we can omit the parentheses and write just $\ll x_1, \dots, x_m \Phi$;
3. A *resource* is one of the following:
 - $\alpha \Phi$, where α is a finitary process and Φ is a DO-resource;
 - $\Phi \dot{\rightarrow} \Psi$, where Φ, Ψ are resources;
 - $\Phi \dot{\wedge} \Psi$, where Φ, Ψ are resources;³
 - $\dot{\forall} x \Phi$, where x is a variable and Φ is a resource.

We also introduce the following abbreviations:

- $\dot{\dot{\downarrow}} = \dot{\downarrow} \gg$;
- $\dot{\dot{\uparrow}} = \dot{\uparrow} \gg$;
- $\dot{\dot{\Phi}} = \Phi \dot{\rightarrow} \dot{\downarrow}$;
- $\Phi \dot{\dot{\vee}} \Psi = (\dot{\dot{\Phi}}) \dot{\rightarrow} \Psi$;
- $\dot{\dot{\exists}} x \Phi = \dot{\dot{\forall}} x \dot{\dot{\Phi}}$;
- $\Phi \dot{\dot{\wedge}} \Psi = \dot{\dot{\uparrow}} \gg (\ll \Phi, \ll \Psi)$;
- $\dot{\dot{\forall}} x \Phi = \dot{\dot{\uparrow}} \gg x \ll \Phi$;
- $\Phi \dot{\dot{\vee}} \Psi = \dot{\dot{\downarrow}} (\dot{\dot{\Phi}} \dot{\dot{\wedge}} \dot{\dot{\Psi}})$;
- $\dot{\dot{\exists}} x \Phi = \dot{\dot{\downarrow}} (\dot{\dot{\forall}} x \dot{\dot{\Phi}})$.

³In fact, $\Phi \dot{\dot{\wedge}} \Psi$ can be defined as $\dot{\dot{\downarrow}} (\dot{\dot{\Phi}} \dot{\dot{\vee}} \dot{\dot{\Psi}})$ (see the $\dot{\dot{\wedge}}$ -independent definition of $\dot{\dot{\vee}}$ and $\dot{\dot{\vee}}$ below), but we still prefer to treat $\dot{\dot{\wedge}}$ as a basic symbol.

Thus, every resource is a $(\dot{\rightarrow}, \ddot{\wedge}, \check{\vee})$ -combination of expressions of the type

$$\alpha \gg \vec{x} \left(\ll \vec{y}_1 (\Phi_1^1(\vec{x}, \vec{y}_1), \dots, \Phi_{k_1}^1(\vec{x}, \vec{y}_1)), \dots, \ll \vec{y}_n (\Phi_1^n(\vec{x}, \vec{y}_n), \dots, \Phi_{k_n}^n(\vec{x}, \vec{y}_n)) \right),$$

where α is a finitary process and the Φ_i^j are resources. This expression represents an agent which maintains the process α as its effect; a command to it should be given by specifying \vec{x} as a sequence \vec{a} of constants, and specifying one of the i , $1 \leq i \leq n$. The expression to the right of \gg represents the potential of this resource. We see that this potential is more complex than the type of potentials discussed in Section 1. The intuitive meaning of $\ll \vec{y}_i (\Phi_1^i(\vec{a}, \vec{y}_i), \dots, \Phi_{k_i}^i(\vec{a}, \vec{y}_i))$ as a command is that slave has to produce the resource $\Phi_j^i(\vec{a}, \vec{b})$ for a j ($1 \leq j \leq k_i$) and \vec{b} of his own choice, and report about this choice (along with the fact of executing the command) to master.

The operators \gg and \ll , when followed by a nonempty list of variables, act as quantifiers: they bind the occurrences of these variables within their scope. An occurrence of a variable in a resource is said to be *free*, if it is not in the scope of \gg , \ll , \forall , $\check{\vee}$ or $\check{\vee}$. If a resource does not contain free occurrences of variables, then it is said to be *closed*.

Note that our definition of resource allows infinite expressions: there is no requirement "... is the smallest set of expressions such that...". Naturally, we only want to deal with resources which can be expressed finitarily. One way to express a certain class of infinite resources finitarily is to allow *recursive definitions* for their subexpressions. For safety, we will only allow definitions that have the following form:

$$\Phi := \gg \vec{x} \left(\ll \vec{y}_1 (\alpha_1^1 \Phi_1^1, \dots, \alpha_{k_1}^1 \Phi_{k_1}^1), \dots, \ll \vec{y}_n (\alpha_1^n \Phi_1^n, \dots, \alpha_{k_n}^n \Phi_{k_n}^n) \right), \quad (1)$$

where the α_i^j are finitary processes and the Φ_i^j are DO-resources introduced by the same type (1) of recursive definitions, so that, Φ , itself, can be among the Φ_i^j .

A recursive definition is not a part of a formula but should be given separately, and if a resource contains a recursively defined subexpression Φ , we assume that Φ just abbreviates the right-hand side of its definition.

Another type of finitarily represented infinite expressions we will allow in resources is

$$!\Phi,$$

which is understood as an abbreviation for the infinite conjunction

$$\Phi \ddot{\wedge} \Phi \ddot{\wedge} \Phi \ddot{\wedge} \dots$$

We will call the resources that are finite expressions, possibly containing !-expressions and recursively defined subexpressions of the form (1), *finitary resources*. Since we are going to deal only with this type of resources, from now on, the word "resource" will always refer to finitary resources.

We are now going to give a formal definition of the semantics for resources. This definition is in a game-semantical style as we understand a resource as a potential game between master and slave, where moves consist in giving commands and/or reporting execution of commands.

A *position* is one of the following:

- a resource;
- a DONE-resource;
- $\Phi \dot{\rightarrow} \Psi$, where Φ and Ψ are positions;

- $\Phi \dot{\wedge} \Psi$, where Φ and Ψ are positions;
- $\ddot{\forall} x \Phi$, where x is a variable and Φ is a position.

When speaking about a subexpression of an expression, we are often interested in a concrete occurrence of this subexpression rather than the subexpression as an expression (which may have several occurrences). In order to stress that we mean a concrete occurrence, we shall use the words “osubexpression”, “osubposition”, etc. (“o” for “occurrence”).

A *surface osubexpression* of a resource or a position is an osubexpression which is not in the scope of \gg or \ll .

Such an osubexpression is *positive*, or has a *positive occurrence*, if it is in the scope of an even number of $\ddot{\rightarrow}$; otherwise it is *negative*.

Definition 4.2 A *master’s move* for a position Φ is a position which results from Φ by

- replacing some finite (possibly zero) number of positive surface osubpositions of the form $\alpha \gg \vec{x}(\Psi_1(\vec{x}), \dots, \Psi_n(\vec{x}))$ by $\Psi_i(\vec{a})$ for some sequence \vec{a} (of the same length as \vec{x}) of constants and some i ($1 \leq i \leq n$), and/or
- replacing some finite (possibly zero) number of negative surface osubpositions of the form $\ll \vec{x}(\Psi_1(\vec{x}), \dots, \Psi_n(\vec{x}))$ by $\Psi_i(\vec{a})$ for some \vec{a} and i ($1 \leq i \leq n$).

Slave’s move is defined in the same way, only with the words “positive” and “negative” interchanged.

Thus, master’s moves consist in giving commands in positive osubresources and reporting execution of commands in negative osubresources, while slave’s moves consist in giving commands in negative osubresources and reporting execution of commands in positive osubresources.

Suppose Ψ' and Ψ'' are master’s and slave’s moves for a position Φ . Then the *composition* of these two moves with respect to Φ is the position Ψ which results from Φ by combining all the changes made by master and slave in Φ in their Φ -to- Ψ' and Φ -to- Ψ'' moves. Ψ is said to be a *move* for Φ . Note that every position is a move for itself.

For a position Φ , a Φ -*play*, or a *play over* Φ , is a finite or infinite sequence of the type

$$\langle \Phi_0, t_1, \Phi_1, t_2, \Phi_2, \dots \rangle,$$

where $\Phi_0 = \Phi$, the t_i are increasing time moments ($t_1 < t_2 < \dots$) and, for each i , Φ_{i+1} is a move for Φ_i .

A play is said to be *compact*, if no two neighboring positions (Φ_i and Φ_{i+1}) in it are identical. If a play P is not compact, its *compactization*, denoted by P^+ , is the play which results from P by deleting every position which is identical to the previous position, together with the time moment separating these two positions.

Intuitively, the Φ_i are the consecutive positions of the play, and t_i is the time moment at which the position Φ_{i-1} is replaced by Φ_i .

Note that the $(\ddot{\rightarrow}, \dot{\wedge}, \ddot{\forall})$ -structure of a position in a play is inherited by the subsequent positions.

Every (compact) play P produces a unique process P^* defined below. In this definition, “...” does not necessarily mean an infinite continuation of the list (play): such a list can be 1-element, n -element or infinite; in clause 6, \vec{Q} stands for an arbitrary (possibly empty) sequence $t_1, \Gamma_1, t_2, \Gamma_2, \dots$

Definition 4.3 (of the operation $*$)

LOGIC

1. $\langle \alpha \gg \Phi \rangle^* = \alpha$.
2. $\langle \Phi_0 \dot{\dashv} \Psi_0, t_1, \Phi_1 \dot{\dashv} \Psi_1, t_2, \dots \rangle^* = \langle \Phi_0, t_1, \Phi_1, t_2, \dots \rangle^{+*} \dot{\dashv} \langle \Psi_0, t_1, \Psi_1, t_2, \dots \rangle^{+*}$.
3. $\langle \Phi_0 \ddot{\wedge} \Psi_0, t_1, \Phi_1 \ddot{\wedge} \Psi_1, t_2, \dots \rangle^* = \langle \Phi_0, t_1, \Phi_1, t_2, \dots \rangle^{+*} \ddot{\wedge} \langle \Psi_0, t_1, \Psi_1, t_2, \dots \rangle^{+*}$.
4. $\langle \ddot{\forall} x \Phi_0, t_1, \ddot{\forall} x \Phi_1, t_2, \dots \rangle^* = \ddot{\forall} x (\langle \Phi_0, t_1, \Phi_1, t_2, \dots \rangle^*)$.
5. $\langle \alpha \gg \vec{x}(\Psi_1(\vec{x}), \dots, \Psi_n(\vec{x})), t, \Psi_i(\vec{a}) \rangle^* = \perp$.
6. If $P = \langle \alpha \gg \vec{x} (\ll y_1 (\Psi_1^1(\vec{x}, y_1), \dots, \Psi_{k_1}^1(\vec{x}, y_1)), \dots, \ll y_n (\Psi_1^n(\vec{x}, y_n), \dots, \Psi_{k_n}^n(\vec{x}, y_n))) \rangle$,

$$\begin{array}{c} k, \\ \ll y_i (\Psi_1^i(\vec{a}, y_i), \dots, \Psi_{k_i}^i(\vec{a}, y_i)), \\ m, \\ \Psi_j^i(\vec{a}, \vec{b}), \\ \vec{Q} \rangle, \end{array}$$

then

$$P^* = \alpha \rightsquigarrow_k^m \langle \Psi_j^i(\vec{a}, \vec{b}), \vec{Q} \rangle^*.$$

Explanation: According to clause 3, a play over a $\ddot{\wedge}$ -conjunction of resources produces the $\dot{\wedge}$ -conjunction of the processes produced by the (sub)plays over the conjuncts of the resource. Similarly for the other double-dotted connectives $\dot{\dashv}$ (clause 2) and $\ddot{\forall}$ (clause 4).

A play over

$$\alpha \gg \vec{x} (\ll y_1 (\Psi_1^1(\vec{x}, y_1), \dots, \Psi_{k_1}^1(\vec{x}, y_1)), \dots, \ll y_n (\Psi_1^n(\vec{x}, y_n), \dots, \Psi_{k_n}^n(\vec{x}, y_n)))$$

produces α , if no moves have been made (clause 1). If a command

$$\ll y_i (\Psi_1^i(\vec{a}, y_i), \dots, \Psi_{k_i}^i(\vec{a}, y_i))$$

was given but a report never followed (clause 5), we consider this a failure of the non-reporting resource to carry out its task, and associate the always-false process \perp with this play so that it is never successful. Finally, if a report $\Psi_j^i(\vec{a}, \vec{b})$ followed the command, the play produces $\alpha \rightsquigarrow_k^m \beta$, where k is the moment of giving the command, m is the moment of reporting its execution, and β is the process produced by the subplay over $\Psi_j^i(\vec{a}, \vec{b})$; truth of this \rightsquigarrow -process means that the process α switches to the process β at some time after the command and before the report.

One can show that as long as Φ is a closed finitary process, the process P^* produced by a Φ -play P is always a closed infinitary process in the sense of Definition 3.3.

A *slave's strategy* is a function f which assigns to every position Φ a slave's move for Φ . We assume that this function is implemented as a program on a machine, and we denote by $f'(\Phi)$ the time this program takes to give an output for input Φ ; if the program doesn't give any output, or gives an output which is not a slave's move for Φ , then we assume that $f'(\Phi) = \infty$.

Let Φ_0 be a resource and f be a slave's strategy. Here is an informal definition of a Φ_0 -play with slave's strategy f . The play starts at moment 0, and at this stage it is the one-position (sub)play $\langle \Phi_0 \rangle$. Slave, i.e. the function f , takes Φ_0 as an input, and starts computing an output for it, — thinking what move to make for Φ_0 . While slave is thinking,

master can make some moves Φ_1, \dots, Φ_n at time moments t_1, \dots, t_n , where $n \geq 0, t_1 < \dots < t_n$ and each Φ_i ($1 \leq i \leq n$) is a master's move for Φ_{i-1} . Note that Φ_n is a master's move for Φ_0 by the transitivity of this relation. The play has thus evolved to

$$\langle \Phi_0, t_1, \Phi_1, \dots, t_n, \Phi_n \rangle.$$

Finally, at moment $t_{n+1} = f'(\Phi_0)$, f computes a slave's move Ψ for Φ_0 , and the next two items of the play become t_{n+1} and Φ_{n+1} , where Φ_{n+1} is the composition of Ψ and Φ_n with respect to Φ_0 . Note that Φ_{n+1} is, at the same time, a slave's move for Φ_n .

So far slave has been busy processing the input Φ_0 and did not see master's moves. Only now he looks at the current (last) position and sees that it is Φ_{n+1} . So, he takes this position as a new input, and starts computing a move for it. While slave is thinking on his second move, master can continue making moves and the play can evolve to

$$\langle \Phi_0, t_1, \Phi_1, \dots, t_n, \Phi_n, t_{n+1}, \Phi_{n+1}, \dots, t_m, \Phi_m \rangle$$

until, at some moment t_{m+1} , slave comes up with a move Γ for Φ_{n+1} . The next two items of the play become t_{m+1} and Φ_{m+1} , where Φ_{m+1} is the composition of Γ and Φ_m with respect to Φ_{n+1} . And so on...

If, at some stage, f fails to compute a move, that is, thinks for an infinitely long time, then all the further moves will be made only by master. In this case, master may make not only a finite, but also an infinite number of consecutive moves.

We say that a play P is *successful* with respect to a world W , iff $W \models_{0,\infty} P^*$.

A slave's strategy is said to be *universally successful* for a closed resource Φ , iff every Φ -play with this strategy is successful with respect to every world.

Definition 4.4 We say that a resource is *universally valid* iff there is a universally successful slave's strategy for it.

5 Resource schemata

In this section we extend our language by adding to it *resource letters*. Formulas of this extended language can be viewed as schemata for resources, where resource letters stand for resources.

Every resource letter has a fixed arity. The definition of *resource scheme* is the same as the definition of resource (where the word "resource" is replaced by "resource scheme"), with the following additional clause:

- if Φ is an n -ary resource letter and t_1, \dots, t_n are terms, then $\Phi(t_1, \dots, t_n)$ is a resource scheme.

For safety, we assume that the set of variables occurring in resource schemata is a proper subset of the set of variables of the language introduced in the previous sections, and that there are infinitely many variables in the latter that don't occur in resource schemata.

A resource is said to be *safe* if it is $\dot{\vdash}\Phi$ for some DO-resource Φ , or a $(\dot{\rightarrow}, \dot{\wedge}, \dot{\vee})$ -combination of resources of this type.

Safe resources are what we could call "effectless" resources: they are not responsible for maintaining any nontrivial process and their value is associated only with their convertibility into other resources.

A *substitution* (resp. *safe substitution*) is a function τ which assigns to every n -ary resource letter Φ a resource (resp. safe resource) $\tau\Phi = \Psi(x_1, \dots, x_n)$ with exactly n free variables which does not contain any variables that might occur in resource schemata.

Given a resource scheme Φ and a substitution τ , Φ^τ is defined as a result of substituting in Φ every resource letter P by τP . More precisely,

- for an atomic resource scheme Φ of the form $P(t_1, \dots, t_n)$, where the t_i are terms and $\tau P = \Psi(x_1, \dots, x_n)$, we have $\Phi^\tau = \Psi(t_1, \dots, t_n)$;
- $\left(\alpha \gg \vec{x} \left(\ll \vec{y}_1(\Phi_1^1, \dots, \Phi_{k_1}^1), \dots, \ll \vec{y}_n(\Phi_1^n, \dots, \Phi_{k_n}^n) \right) \right)^\tau = \alpha \gg \vec{x} \left(\ll \vec{y}_1((\Phi_1^1)^\tau, \dots, (\Phi_{k_1}^1)^\tau), \dots, \ll \vec{y}_n((\Phi_1^n)^\tau, \dots, (\Phi_{k_n}^n)^\tau) \right)$;
- $(\Phi \dot{\rightarrow} \Psi)^\tau = \Phi^\tau \dot{\rightarrow} \Psi^\tau$;
- $(\Phi \ddot{\wedge} \Psi)^\tau = \Phi^\tau \ddot{\wedge} \Psi^\tau$;
- $(\ddot{\forall} x \Phi)^\tau = \ddot{\forall} x(\Phi^\tau)$.

We say that a resource Φ is an *instance* of a resource scheme Ψ , iff $\Phi = \Psi^\tau$ for some substitution τ . If τ is a safe substitution, then Φ is said to be a *safe instance* of Ψ .

Definition 5.1 We say that a resource scheme Ψ is *universally valid* (resp. *universally s-valid*) iff there is slave's strategy such that for every instance (resp. safe instance) Φ of Ψ , the Φ -play with this strategy is successful with respect to every world.

6 The MALL and MLL fragments

Our logic, — the set of universally valid resources or resource schemata, — is certainly undecidable in the full language as it contains first order classical logic. However, some reasonably efficient heuristic algorithms can apparently be found for it. Also, some natural fragments of the logic are decidable. This paper doesn't address these issues in detail as its main goal is to introduce the language and the semantics and show possible applications in case efficient algorithms are elaborated. This is a beginning of the work rather than a completed work.

Here we only state the decidability of two fragments of the logic. The first one we call the MALL fragment. Its language is the same as that of Multiplicative-Additive Linear Logic, where $\dot{\rightarrow}$, $\ddot{\wedge}$, $\overline{\wedge}$ and $\overline{\forall}$ correspond to the multiplicative implication, multiplicative conjunction, additive conjunction and (additive) universal quantifier of linear logic, respectively. Here is the definition:

MALL-formulas are the elements of the smallest class M of expressions such that, saying “ Φ is a MALL-formula” for $\Psi \in M$, we have:

- $\dot{\perp}$ is a MALL-formula;
- if Ψ is an n -ary resource letter and t_1, \dots, t_n are terms, then $\Psi(t_1, \dots, t_n)$ is a MALL-formula;
- if Ψ and Φ are MALL-formulas, then so is $\Phi \dot{\rightarrow} \Psi$;
- if Ψ and Φ are MALL-formulas, then so is $\Phi \ddot{\wedge} \Psi$;
- if Ψ and Φ are MALL-formulas, then so is $\Phi \overline{\wedge} \Psi$;
- if Ψ is a MALL-formula and x is a variable, then $\overline{\forall} x \Psi$ is a MALL-formula.

Here is our main technical claim:

Claim 6.1 *The set of universally s-valid closed MALL formulas is decidable. In particular, it is the logic ET introduced in [8]. The decision algorithm is constructive: it not only states the existence of a successful strategy (when it exists), but actually finds such a strategy.*

We let this claim go without a proof. An interested reader who carefully studies the relevant parts of [8] should be able to re-write the soundness and completeness proof for *ET* given there as a proof of the above claim. In fact, the proof given there establishes the completeness of *ET* in a much stronger sense than claimed above.

A *MLL-formula* (“Multiplicative Linear Logic”) is a MALL-formula which does not contain $\bar{\wedge}$ or $\bar{\vee}$. Since we have no quantifiers, we assume that all resource letters in MLL-formulas are 0-ary. We have a stronger soundness/decidability result for the MLL-fragment of our logic. Stronger in the sense that it is about validity rather than s-validity.

A MLL-formula is said to be a *binary tautology*, if it is an instance of a classical tautology (with the double-dots placed over \perp , \wedge and \rightarrow) in which every predicate letter (non- \perp propositional atom) occurs at most twice. For example, $\Phi\check{\wedge}\Psi\check{\rightarrow}\Phi$ is a binary tautology, and so is $\Phi\check{\wedge}\Phi\check{\rightarrow}\Phi$ as the latter is an instance of the former; however, $\Phi\check{\rightarrow}\Phi\check{\wedge}\Phi$ is not a binary tautology. Note that in fact a binary tautology is always an instance of a classical tautology where every predicate letter has either one occurrence, or two occurrences, one of which is positive and the other — negative. Blass [2] was the first to study binary tautologies and find a natural semantics for them.

Claim 6.2 *A MLL-formula is universally valid iff it is a binary tautology. Hence, validity for MLL-formulas is decidable; again, the decision algorithm is constructive.*

The “only if” part of this claim follows from Claim 6.1 together with an observation that a MLL-formula is a binary tautology iff it is in *ET*. The “if” part, as always, is easier to verify, and instead of giving an actual proof, we will just explain the idea behind it on particular examples.

The simplest binary tautology is $\Phi\check{\rightarrow}\Phi$. Why is it universally valid? Observe that since one of the two occurrences of Φ is negative and the other occurrence is positive, what is a master’s move in one occurrence of Φ , is a slave’s move in the other occurrence of Φ , and vice versa. The slave’s strategy which ensures that every play is successful, consists in *pairing* these two occurrences: copying master’s moves, made in either occurrence, into the other occurrence. For example, let Φ be

$$\alpha \gg (\ll (\beta \gg, \gamma \gg), \ll (\delta \gg)).$$

Then, the initial position is

$$\alpha \gg (\ll (\beta \gg, \gamma \gg), \ll (\delta \gg)) \check{\rightarrow} \alpha \gg (\ll (\beta \gg, \gamma \gg), \ll (\delta \gg)).$$

Slave waits (keeps returning the above position without changes) until master makes a move. If master never makes a move, then (after compactization) we deal with a one-position (0-move) play and, according to the clauses 2 and 1 of Definition 4.3, the process produced by this play is $\alpha\rightarrow\alpha$. Clearly, this process is valid and hence the play is successful. Otherwise, if master makes a move at some moment t_1 , this should be replacing the positive occurrence of $\alpha \gg (\ll (\beta \gg, \gamma \gg), \ll (\delta \gg))$ by either $\ll (\beta \gg, \gamma \gg)$ or $\ll (\delta \gg)$. Suppose the former. Thus, the next position of the play is

$$\alpha \gg (\ll (\beta \gg, \gamma \gg), \ll (\delta \gg)) \check{\rightarrow} \ll (\beta \gg, \gamma \gg).$$

Then slave does the same in the antecedent of this position, thus making

$$\ll (\beta \gg, \gamma \gg) \check{\rightarrow} \ll (\beta \gg, \gamma \gg)$$

the next position of the play. This move will happen at time moment t_2 which is greater than t_1 by the time slave needs to copy the master’s move.

LOGIC

After this, slave waits again until master reports an execution of this command. If this never happens, then the play is successful because, by the clauses 2 and 5 of Definition 4.3, the process it produces is $\perp \dot{\rightarrow} \perp$, which is always true. Otherwise, at some moment $t_3 > t_2$, master reports an execution by replacing $\ll (\beta \gg, \gamma \gg)$ by, say, $\gamma \gg$. So that the next position now becomes

$$\gamma \gg \dot{\rightarrow} \ll (\beta \gg, \gamma \gg).$$

Then, as soon as he can, — at some moment t_4 , — slave reports the same in the consequent of this position, and we get

$$\gamma \gg \dot{\rightarrow} \gamma \gg.$$

Since there are no moves for this position, the play ends here. An analysis of the clause 6 of Definition 4.3 convinces us that the process produced by this play is

$$\left(\alpha \rightsquigarrow_{t_2}^{t_3} \gamma \right) \dot{\rightarrow} \left(\alpha \rightsquigarrow_{t_1}^{t_4} \gamma \right).$$

Since $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$, it is easily seen that this process is valid, and thus the play is successful.

A similar strategy can be used for other binary tautologies. E.g., the strategy for $\Phi \dot{\wedge} (\Phi \dot{\rightarrow} \Psi) \dot{\rightarrow} \Psi$ consists in pairing the two occurrences of Φ and pairing the two occurrences of Ψ . This trick, however, fails for resources that are not binary tautologies. For example, in $\Phi \dot{\rightarrow} \Phi \dot{\wedge} \Phi$, slave can pair the negative occurrence of Φ only with one of the two positive occurrences of Φ . The (sub)play over the unpaired occurrence then may produce a false process while the (sub)play over the negative occurrence — a true process. In that case the process produced by the whole play over $\Phi \dot{\rightarrow} \Phi \dot{\wedge} \Phi$ will be false.

7 The assembly world in terms processes

What is going on in a computer at the assembly language (as well as higher) level can be formalized in our language as a process. Here we consider an example of a simplified assembly world.

Our “computer” has only 3 memory locations or registers: L_1 , initially containing 2, L_2 , initially containing 0, and L_3 , initially containing 0. The assembly language for this “architecture” has only 3 commands: command #1, command #2, command #3. Command # i results in adding the contents of the other two locations and writing it in L_i .

There are several ways to formalize this situation in our language, and here is one of them.

Since giving a command is an instantaneous event, we assume that command # i creates a “puls” which makes the contents of L_i change. Creating a puls means making a certain fact — denote it by P_i for command # i — become true for one moment. Between commands another fact, Np (“no puls”), holds. It can be defined by

$$Np =_{df} \neg(P_1 \vee P_2 \vee P_3). \quad (2)$$

The further abbreviations we will use for convenience are:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &=_{df} \angle P_1 \dot{\wedge} \dot{\downarrow} Np \\ \alpha_2 &=_{df} \angle P_2 \dot{\wedge} \dot{\downarrow} Np \\ \alpha_3 &=_{df} \angle P_3 \dot{\wedge} \dot{\downarrow} Np \end{aligned}$$

Thus, issuing command # i can be seen as starting (switching to) process α_i .

The formulas λ_1 , λ_2 and λ_3 , defined below, are meant to describe the behavior of the processes going on in the 3 locations:⁴

⁴Although our language does not allow terms such as $x + y$, we can pretend that it does, because every expression containing this kind of terms can be rewritten as an equivalent legal expression the language defined in the previous sections. So that, for convenience, here and later we assume that our language is based on predicate logic with function symbols and identity rather than pure predicate logic.

$$\begin{aligned}\lambda_1 &=_{df} [\triangleright] \left(\angle P_1 \wedge \uparrow \neg P_1 \wedge \exists x, y (\angle L_2(x) \wedge \angle L_3(y) \wedge \uparrow L_1(x+y)) \right) \\ \lambda_2 &=_{df} [\triangleright] \left(\angle P_2 \wedge \uparrow \neg P_2 \wedge \exists x, y (\angle L_1(x) \wedge \angle L_3(y) \wedge \uparrow L_2(x+y)) \right) \\ \lambda_3 &=_{df} [\triangleright] \left(\angle P_3 \wedge \uparrow \neg P_3 \wedge \exists x, y (\angle L_1(x) \wedge \angle L_2(y) \wedge \uparrow L_3(x+y)) \right)\end{aligned}$$

Before we analyze the λ_i , let us agree on some jargon. Every (true) process $[\triangleright]\gamma$ or $\gamma_1 \triangleright \dots \triangleright \gamma_n$ can be divided into \triangleright -stages, which are the consecutive time intervals on which γ is true. A transition from one stage to another will be referred to as a \triangleright -transition. Similarly, we will use the terms “ \triangleright -stage” and “ \triangleright -transition” for processes of the type $[\triangleright]\gamma$ or $\gamma_1 \triangleright \dots \triangleright \gamma_n$.

In these terms, λ_i starts its \triangleright -stage when puls P_i is given (the conjunct $\angle P_i$), and will stay in this stage exactly until the same puls is given again. A \triangleright -transition to the new stage before this is impossible because, due to the conjunct $\angle P_i$, that stage requires that P_i be true at the moment of the transition. And a late transition to a new stage is also impossible because, as soon as P_i becomes true, the conjunct $\uparrow \neg P_i$ is violated. Throughout each \triangleright -stage, except its first moment, the location L_i then stores the sum of the values that the other two locations had at the initial moment of the stage.

Now we need to axiomatize the situation where the initial value of L_1 is 2, the initial values of the other two locations are 0, and these values will be maintained until the corresponding command (puls) is given. This will be captured by the following 3 axioms:

$$\left((\uparrow L_1(2)) \wedge (\downarrow \neg P_1) \right) \triangleright \lambda_1 \tag{3}$$

$$\left((\uparrow L_2(0)) \wedge (\downarrow \neg P_2) \right) \triangleright \lambda_2 \tag{4}$$

$$\left((\uparrow L_3(0)) \wedge (\downarrow \neg P_3) \right) \triangleright \lambda_3 \tag{5}$$

Next, for safety, we need to state that two different pulses cannot happen simultaneously:

$$\square \left(\neg(P_1 \wedge P_2) \wedge \neg(P_1 \wedge P_3) \wedge \neg(P_2 \wedge P_3) \right) \tag{6}$$

We also need to axiomatize some sufficient amount of the arithmetic needed. We may assume that *Arithm* is the conjunction of the axioms of Robinson’s arithmetic (see [11]), although, for our purposes, just

$$2 + 0 = 2 \wedge 2 + 2 = 4 \wedge 2 + 4 = 6 \wedge 6 + 4 = 10$$

would do as *Arithm*. In any case,

$$\square \text{Arithm} \tag{7}$$

should be one of our axioms.

The final axiom below represents a program which, after being idle ($\downarrow Np$), issues command #2, then command #3, then command #1 and then, again, command #2.

$$(\downarrow Np) \triangleright \alpha_2 \triangleright \alpha_3 \triangleright \alpha_1 \triangleright \alpha_2. \tag{8}$$

Our claim is that given the truth of these axioms, we can conclude that the process $\uparrow L_2(10)$ will be reached at some point. In other words, the process

$$\left((3) \hat{\wedge} (4) \hat{\wedge} (5) \hat{\wedge} (6) \hat{\wedge} (7) \hat{\wedge} (8) \right) \dot{\rightarrow} \left(\dot{\uparrow} \triangleright \Downarrow L_2(10) \right)$$

is valid. Indeed, in the initial situation,⁵ we have

$$L_1(2), L_2(0), L_3(0), Np.$$

While we have Np , the values of L_1, L_2, L_3 cannot change, because a \triangleright -transition to λ_i would require the truth (at the moment of transition) of P_i , which is ruled out by (2). So, the situation will change only if a pulse P_i occurs.

The first stage $\Downarrow Np$ of axiom 8 prevents occurring such pulses. So, the situation will change exactly when the process (8) makes a \triangleright -transition from $\Downarrow Np$ to α_2 , i.e. to $\angle P_2 \hat{\wedge} \uparrow Np$. This transition forces (4) to switch to λ_2 , which results in starting the process $\uparrow L_2(2)$: L_2 will have its old value 0 at the first moment of the stage, and the value 2 after that. On the other hand, in view of (6), no \triangleright -transition can happen in (3) or (5). Thus, the situation at the moment of transition becomes

$$L_1(2), L_2(0), L_3(0), P_2,$$

which will become

$$L_1(2), L_2(2), L_3(0), Np$$

right after the moment of transition because of $\uparrow L_2(2)$ and $\downarrow Np$.

Continuing arguing in this manner, we get that the further development of situations is:

$$L_1(2), L_2(2), L_3(0), P_3,$$

$$L_1(2), L_2(2), L_3(4), Np,$$

$$L_1(2), L_2(2), L_3(4), P_1,$$

$$L_1(6), L_2(2), L_3(4), Np,$$

$$L_1(6), L_2(2), L_3(4), P_2,$$

$$L_1(6), L_2(10), L_3(4), Np.$$

Since the last stage of the program (8) contains the conjunct $\uparrow Np$, no further changes will occur, and the value of L_2 will remain 10.

8 The assembly world in terms of resources

In the previous example we dealt with processes that ran “by themselves”. We could not interfere and manage them, so that there was no space for planning.

Presenting the world as a set of resources rather than processes allows us to capture our ability to influence the course of events in the world. Our way to interact with the world is giving and receiving commands.

Here is an attempt to present the assembly world as a resource. We assume that we have, as an empty-potential resource, the $\hat{\wedge}$ -conjunction Γ of the axioms (3)-(7), suffixed by \gg :

$$\Gamma =_{df} \left((3) \hat{\wedge} (4) \hat{\wedge} (5) \hat{\wedge} (6) \hat{\wedge} (7) \right) \gg .$$

As for axiom (8), which is a “ready program”, instead of it we have a resource which accepts from us any of those 3 commands, as many times as we like.

⁵We use the word “situation” with a relaxed meaning: here it denotes some “core” subset of facts rather than a complete set of facts.

This resource will be expressed by

$$(\Downarrow Np)\Theta, \tag{9}$$

where Θ is introduced by the recursive definition

$$\Theta := \gg \left(\ll (\alpha_1\Theta), \ll (\alpha_2\Theta), \ll (\alpha_3\Theta) \right).$$

Now we can ask the question if we can accomplish the task $(\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg$. In other words, whether

$$\Gamma \check{\Delta}(9) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$$

is universally valid. Yes, it is. The strategy is:

Convert $(\Downarrow Np)\Theta$ into $\ll (\alpha_2\Theta)$; after getting the report $\alpha_2\Theta$, convert it into $\ll (\alpha_3\Theta)$; after getting the report $\alpha_3\Theta$, convert it into $\ll (\alpha_1\Theta)$; after getting the report $\alpha_1\Theta$, convert it into $\ll (\alpha_2\Theta)$, and stop.

Thus, unless (9) fails to carry out its task, the only play corresponding to this strategy is the following sequence of positions:

0. $\Gamma \check{\Delta}((\Downarrow Np)\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
1. $\Gamma \check{\Delta}(\ll \alpha_2\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
- 1'. $\Gamma \check{\Delta}(\alpha_2\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
2. $\Gamma \check{\Delta}(\ll \alpha_3\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
- 2'. $\Gamma \check{\Delta}(\alpha_3\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
3. $\Gamma \check{\Delta}(\ll \alpha_1\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
- 3'. $\Gamma \check{\Delta}(\alpha_1\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
4. $\Gamma \check{\Delta}(\ll \alpha_2\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$
- 4'. $\Gamma \check{\Delta}(\alpha_2\Theta) \dot{\rightarrow} \left((\dot{\top} \triangleright (\Downarrow L2(10))) \gg \right)$.

One can easily see that this play produces the same process as the process described in the previous section, and hence it achieves the goal provided that the resources Γ and (9) successfully accomplish their tasks.

However, this is not the best way to represent the assembly world. Although it avoids the representational frame problem, — no need in anything like frame axioms, — the inferential frame problem⁶ still remains: in an analysis of the play, after every move, we need to verify that only one $\hat{\Delta}$ -conjunct of Γ (which is the major part of the world) changes its \triangleright -stage; these changes are not reflected in the current position — Γ remains Γ and we need to separately keep track of in what stages the \triangleright -processes of its effect are. It is just the presence of the operators \triangleright , \triangleright , $[\triangleright]$, $[\triangleright]$ in resources that makes a trouble of this kind.

A better way to represent the assembly world, which avoids the inferential (along with the representational) frame problem is to view each memory location as an independent resource which can directly accept our commands. Then we can be sure that a command changes only the resource (the contents of the location) to which it is given, and we don't need to check or re-write the other agents of the system as long as their effects don't contain the operators \triangleright , \triangleright , $[\triangleright]$, $[\triangleright]$.

⁶For a discussion of these 2 sorts of frame problem, see [12].

LOGIC

Below is a description of this sort of axiomatization for the assembly world. Observe that it is totally $(\triangleright, \triangleright, [\triangleright], [\triangleright])$ -free.

Let

$$\Lambda_1 := \gg\ll \left(\left(\dot{\exists}x, y (\angle L_2(x) \wedge \angle L_3(y) \wedge \uparrow L_1(x+y)) \right) \Lambda_1 \right)$$

$$\Lambda_2 := \gg\ll \left(\left(\dot{\exists}x, y (\angle L_1(x) \wedge \angle L_3(y) \wedge \uparrow L_2(x+y)) \right) \Lambda_2 \right)$$

$$\Lambda_3 := \gg\ll \left(\left(\dot{\exists}x, y (\angle L_1(x) \wedge \angle L_2(y) \wedge \uparrow L_3(x+y)) \right) \Lambda_3 \right)$$

We assume the following axioms:

$$\left(\Downarrow L_1(2) \right) \Lambda_1 \tag{10}$$

$$\left(\Downarrow L_2(0) \right) \Lambda_2 \tag{11}$$

$$\left(\Downarrow L_3(0) \right) \Lambda_3 \tag{12}$$

together with $\left((6) \wedge (7) \right) \gg$.

Thus, each of the agents (10), (11), (12) accepts one single command, the execution of which results in writing in the corresponding location the sum of the contents of the other two locations. A strategy for achieving the goal $(\uparrow \triangleright \Downarrow L_2(10)) \gg$ is: Give a command to (11), then to (12), then to (10) and then, again, to (11). A reasonable algorithm which finds this kind of strategy and verifies its successfulness, would only keep track of the changes that occur in the effect of the resource to which a command is given. As we noted, however, this relaxed behavior of the algorithm is possible only if those effects don't contain the "trouble maker" operators \triangleright , \triangleright , $[\triangleright]$ and $[\triangleright]$.

References

- [1] W.Bibel, *A deductive solution for plan generation*. New Generation Computing 4 (1986), pp.115-132, 1986.
- [2] A.Blass, *A game semantics for linear logic*. Annals of Pure and Applied Logic, v.56 (1992), pp. 183-220.
- [3] S.Brüning, S.Hölldobler, J.Shneeberger, U.C.Sigmund and M.Thiesler, *Disjunction in resource-oriented deductive planning*. Technical Report AIDA-94-03, GF Intellectic, FB Informatic, TH Darmstadt, 1994.
- [4] K.Dozen and P.Schroeder-Heister, *Substructural Logics*. Studies in Logic and Computation, D.Gabbay (ed.), Clarendon Press, Oxford, 1993.
- [5] J.Y.Girard, *Linear logic*. Theoretical Computer Science, v.50-1 (1987), pp. 1-102.
- [6] G.Grosse, S.Hölldobler and J.Shneeberger, *Linear deductive planning*. Technical Report AIDA-92-08, GF Intellectic, FB Informatic, TH Darmstadt, 1992.
- [7] S.Hölldobler and J.Shneeberger, *A new deductive approach to planning*. New Generation Computing 8(3), pp.225-244, 1990.
- [8] G.Japaridze, *A constructive game semantics for the language of linear logic*. Annals of Pure and Applied Logic 85 (1997), no.2, pp.87-156.
- [9] G.Japaridze, *A Formalism for Resource-Oriented Planning*. IRCS Report 98-01.

- [10] G.Japaridze, *The Logic of Resources and Tasks*. PhD Thesis. University of Pennsylvania, Philadelphia, 1998, 145 pages.
- [11] S.C.Kleene, *Introduction to Metamathematics*. New York, 1952.
- [12] S.Russell and P.Norwig, *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. Prentice-Hall, 1995.
- [13] U.Sigmund and M.Thielscher, *Equational Logic Programming, Actions and Change*. Proc. Joint International Conference and Symposium on Logic Programming JIC-SLP'92, 1992.

ბუნებრივი ენის გამოთვლითი მოდელი¹

როლანდ ჰაუსერი

I. ცნობიერების კომუნიკაციური მექანიზმი

1. მეთოდოლოგიის საკითხები

მეცნიერებაში ვერიფიკაციის მეთოდი შეცდომებისგან თავის დაზღვევის პირველი ზღუდეა. ის შეიძლება არც კი იყოს ბოლომდე დამუშავებული, თუკი საერთოდ შესაძლებელია მისი ობიექტურობის უზრუნველყოფა. ვერიფიკაციის მეთოდი, რომელიც საგანგებოდაა შექმნილი რომელიმე კონკრეტული თეორიისთვის (ან თეორიათა კლასისთვის), ისე უნდა ურთიერთქმედებდეს თეორიასთან, რომ თავადვე წამოჭრიდეს ახალ-ახალ საკითხებს, რომელთა (I) მეტ-ნაკლებად ამომწურავი გადაჭრაც შესაძლებელი იქნება ვერიფიკაციის მოცემული მეთოდით და (II) შესაბამისი პასუხები მნიშვნელოვანი იქნება თეორიის შემდგომი განვითარებისთვის.

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაში ვერიფიკაცია მდგომარეობს ექსპერიმენტებში, რომლებიც (i) ზუსტადაა განსაზღვრული რაოდენობრივი ტერმინებით და (ii) შეიძლება გამეორებულ იქნეს სხვაგანაც და სხვის მიერაც. ეს მოითხოვს თეორიის ცნებებისა და სტრუქტურების ისეთ სიზუსტეს, რომელიც საკმარისი იქნებოდა სამეცნიერო ექსპერიმენტის ჩასატარებლად. ამისთვის

¹ წარმოგიდგინო როლანდ ჰაუსერის წიგნის „ბუნებრივი ენის გამოთვლითი მოდელი“ (Roland Hausser, *A Computational Model of Natural Language Communication. Interpretation, Inference, and Production in Database Semantics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006) პირველი ორი თავის — „მეთოდოლოგიის საკითხები“ (Matters of Method) და „ინტერფეისები და კომპონენტები“ (Interfaces and Components) თარგმანს.

აუცილებელია, რომ თეორიის ტერმინები და სტრუქტურები იმდენად მკაფიო იყოს, რომ ექსპერიმენტების მეცნიერული ჩატარების საშუალებას იძლეოდეს. მაგრამ ენის გრამატიკული ანალიზისთვის რაოდენობრივი ვერიფიკაციის მეთოდი, როგორც ჩანს, გამოუსადეგარია.

მეთოდი, რომელსაც ამის ნაცვლად ვთავაზობთ, გულისხმობს ბუნებრივი ენით წარმოებული კომუნიკაციის ფუნქციონალური მოდელის აგებას. ეს მოითხოვს (i) დეკლარაციულ სპეციფიკაციას რაციონალურ იმპლემენტაციასთან ერთად (მოლაპარაკე რობოტის პროტოტიპი), (ii) დაკვირვების ობიექტური არხების განსაზღვრას და (iii) რობოტის ქცევის ადეკვატურობის გაიგივებას თეორიის სისწორესთან – რაც იმას ნიშნავს, რომ რობოტს უნდა ჰქონდეს (iv) ადამიანის მსგავსი გარეგანი ინტერფეისი და ენის ანალიზის ისეთი მეთოდი, რომელიც (v) პროცესის სანყისი/საბოლოო მონაცემების თვალსაზრისით ადამიანის მიერ ენის ანალიზის ეკვივალენტური იქნება.

1.1 ენის ანალიზი – ორიენტირებული ნიშანზე თუ აგენტზე?

ბუნებრივი ენა ვლინდება ნიშანთა ფორმით, რომელთა სტრუქტურების შემუშავება ხდება შესაბამისი ენობრივი კოლექტივის ფარგლებში. ეს ნიშნები, რომლებსაც ქმნის ცნობიერი აგენტი მოლაპარაკის სტატუსით, სხვა აგენტი კი მსმენელის სტატუსით და მის ინტერპრეტაციას ახდენს, გამოიყენება მოლაპარაკის მიერ მსმენელისათვის შინაარსის გადასაცემად. იმისდა მიხედვით, თუ მეცნიერული ანალიზი რაზე ამახვილებს ყურადღებას – იზოლირებულ ნიშნებსა თუ კომუნიკაციის პროცესის მონაწილე აგენტებზე, შესაძლებელია გამოვეყოთ ნიშანზე ორიენტირებული და აგენტზე ორიენტირებული მიდგომა.²

ნიშანზე ორიენტირებული მიდგომა, რაც დამახასიათებელია გენერატიული გრამატიკის, ჭეშმარიტულ-პირობითი სემანტიკისა და ტექსტის ლინგვისტიკისთვის, ბუნებრივი ენის გამონათქვამებს ანალიზებს როგორც ქალღმერთზე, მაგნიტურ ფირზე ან ელექტრონული საშუალებებით დაფიქსირებულ ობიექტებს. ისინი უგულებელყოფენ კომუნიკაციის ასპექტს, რადგან მოლაპარაკე-მსმენელის რეჟიმში რეალიზებული ენის მოდელირება არ ყოფილა მათი მიზანი და არც გამოდგება ამისთვის. ამის ნაცვლად, კომუნიკაციის პროცესში მონაწილე აგენტებისგან იზოლირებული ენობრივი ნიმუშები

2 კლარკი განასხვავებს ორ ტრადიციას: ენა-როგორც-პროდუქტი და ენა-როგორც-ქმედება, Clark, H. H. *Using Language*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1996.

COMPUTATION

ანალიზდება როგორც იერარქიული სტრუქტურები და ფორმალურად ეფუძნება შესაძლო ჩანაცვლებათა პრინციპს.

აგენტზე ორიენტირებული მონაცემთა ბაზის სემანტიკა (Database Semantics), ამისგან განსხვავებით, ნიშნებს ანალიზებს როგორც, ერთი მხრივ, მოლაპარაკის ენობრივი აქტივობის შედეგს და, მეორე მხრივ, როგორც ამოსავალ წერტილს მსმენელის მიერ განსახორციელებელი ენობრივი ინტერპრეტაციისთვის. აგენტების ენობრივი აქტივობის/ინტერპრეტაციის პროცედურები მოითხოვს დროით-წრფივ ანალიზს, რაც ფორმალურად შესაძლო განგრძობადობის პრინციპს ეფუძნება.

მონაცემთა ბაზის სემანტიკის მიზანი ბუნებრივ ენაზე წარმოებული კომუნიკაციის თეორიის შექმნაა, რომელიც იქნება სრულად ფუნქციური და სრულად დაფარავს არსებულ მონაცემებს, მათემატიკური თვალსაზრისით, არ იქნება რთული და შესაძლებელი იქნება მისი რეალიზება კომპიუტერზე. მონაცემთა ბაზის სემანტიკის მთავარი საკითხია:

როგორ ხდება კომუნიკაცია ბუნებრივი ენის გამოყენებით?

ამ კითხვას პასუხი მარტივად ასე შეიძლება გაეცეს.

ბუნებრივ ენაზე კომუნიკაცია ხდება ცნობიერ აგენტებს შორის. ამ სამყაროში მათ აქვთ რეალური სხეულები და გარეგანი ინტერფეისი, ერთი მხრივ, არავერბალური ამოცნობისა და ქმედებისთვის კონტექსტურ დონეზე და, მეორე მხრივ, ვერბალური ამოცნობისა და ქმედებისთვის – ენობრივ დონეზე. ყოველი აგენტი „შეიცავს“ მონაცემთა ბაზას, რომელშიც ინახება „შინაარსები“. ეს „შინაარსები“ არის აგენტის ცოდნა, მისი მეხსიერება, წარმოდგენები, მიზნები, გეგმები და ა.შ.

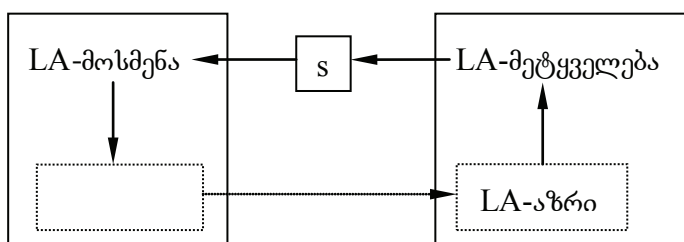
ცნობიერ აგენტებს შეუძლიათ გადაერთონ მოლაპარაკის რეჟიმიდან მსმენელის რეჟიმზე და პირიქით (turn-taking).³ კომუნიკაციის პროცესში აგენტი მოლაპარაკის რეჟიმში ახდენს თავის მონაცემთა ბაზიდან შინაარსის კოდირებას ენობრივ ნიშნებად, რაც ზედაპირულად ხორციელდება ენის გამომავალი ინტერფეისის საშუალებით. ეს ნიშნები მეორე აგენტის მიერ ამოიცნობა ენის შემავალი ინტერფეისის საშუალებით, ხდება მათი შინაარსის დეკოდირება

3 turn-taking განხილულია თორისონთან (Thorisson, K. (2002) “Natural turn-taking needs no manual: computational theory and model, from perception to action,” in B. Granström, D. House, and I. Karlsson (eds.) *Multimodality in Language and Speech System*, 173–207, Dordrecht: Kluwer.

და ამის შემდეგ შეინახება მეორე აგენტის მონაცემთა ბაზაში. ეს პროცედურა წარმატებულად ჩაითვლება, თუ მოლაპარაკის მიერ კოდირებული შინაარსი შესაბამისად დეკოდირდება და შეინახება მსმენელის მიერ.

მონაცემთა ბაზის სემანტიკაში მონაცვლეობის მოდელირება ეფუძნება მონაცემთა სპეციალურ სტრუქტურას და მარცხნივ-ასოსიაციური გრამატიკის (LA-grammar)⁴ დროით-წრფივ ალგორითმს. ეს ალგორითმი სამ ვარიანტად გამოიყენება – ე.წ. LA-მოსმენა, LA-აზრი, LA-მეტყველება. კომუნიკაციის პროცესში ეს სამი LA-გრამატიკა შემდეგნაირად ურთიერქმედებს:

1.1.1 მონაცვლეობის ბაზისური მოდელი



მარჯვნივ ნაჩვენებ აგენტში (მოლაპარაკის რეჟიმი) LA-ფიქრი შერჩევით ააქტიურებს აგენტის მონაცემთა ბაზაში შენახულ მასალას. გააქტიურებული მასალა LA-ლაპარაკის საშუალებით გარდაისახება ბუნებრივი ენის ზედაპირულ სტრუქტურად, რისი რეალიზაციაც ხდება გარეგანი ნიშნების ფორმით (სქემაზე მოცემულია მცირე ზომის *s*-ით აღნიშნული კვადრატით). მარცხნივ ნაჩვენებ აგენტში (მოსმენის რეჟიმი), LA-მოსმენა ახდენს იმ ნიშანთა ინტერპრეტაციას, რომლებიც აგენტის მონაცემთა ბაზაში ინახება.

1.1.1 სქემაზე მოცემული მონაცვლეობა შეიძლება ორგვარად იქნეს ინტერპრეტირებული:

1.1.2 ორი თვალსაზრისი მონაცვლეობაზე

1. გარედან დანახული:

კომუნიკაციის პროცესში მონაწილე ორი აგენტი რიგ-რიგობით აკეთებს თავის სვლებს. სქემაზე 1.1.1 ეს გამოსახულია ორი კვადრატით, რომლებიც წარმოადგენენ აგენტებს, ერთს – მსმენელის, მეორეს კი მოლაპარაკის რეჟიმში.

4 LA-გრამატიკის ფორმალური განსაზღვრა, მისი სირთულის ანალიზი და დეტალური შედარება უშუალო შემადგენელთა გრამატიკასთან და კატეგორიათა გრამატიკასთან იხ. Hausser, R. (1999/2001) *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language*, 2nd ed., pp. 78, Berlin Heidelberg New York: Springer.

COMPUTATION

2. შიგნიდან დანახული:

კომუნიკაციის პროცესში მონაწილე ერთ აგენტში ერთმანეთს ცვლის მოლაპარაკისა და მსმენელის რეჟიმები. სქემაზე 1.1.1 ეს გამოიხატება იმით, რომ ორი კვადრატი შეიძლება განხილულ იქნეს ერთსა და იმავე აგენტად, რომელიც რიგ-რიგობით გადაერთვება მოლაპარაკის და მსმენელის რეჟიმებზე (გადართვას გამოხატავს მარჯვნივ მიმართული წყვეტილი ისარი).

მონაცემთა ბაზის სემანტიკაში (DBS) მონაცვლეობა მიიჩნევა სრულად განსაზღვრულ, კარგად მოტივირებულ გამოთვლით პრობლემად, რომელიც ბუნებრივი ენის ლინგვისტური ანალიზის ცენტრალური საკითხია: სინტაქსური და სემანტიკური ანალიზი უნდა გახდეს მონაცვლეობის, როგორც კომუნიკაციის ყველაზე ბაზისური მექანიზმის, შემადგენელი ნაწილი. მის გარეშე დარჩება მხოლოდ ცალმხრივი მონოლოგი როგორც კერძო შემთხვევა.

1.2 ვერიფიკაციის პრინციპი

ბუნებრივენობრივი კომუნიკაციის მოცემულ თეორიას აქვს ფუნქციონალური მოდელის ფორმა, რომელიც წარმოდგენილია როგორც დეკლარაციული სპეციფიკაცია შესაბამის აპარატურაზე მომუშავე ეფექტიანი კომპიუტერული პროგრამისთვის. დეკლარაციული სპეციფიკაცია აღწერს პროგრამული უზრუნველყოფის აუცილებელ მახასიათებლებს, როგორებიცაა: გარეგანი ინტერფეისი, მონაცემთა სტრუქტურა და ალგორითმი. ამ შემთხვევაში არაარსებითია ისეთი „შემთხვევითი“⁵ მახასიათებლები, როგორებიცაა პროგრამირების კონკრეტული ენა და/ან პროგრამისტის სტილისტური თავისებურებები.

ლოგიკაში ალგებრული განსაზღვრებისგან⁶ განსხვავებით, დეკლარაციული სპეციფიკაცია არ ეფუძნება მხოლოდ სიმრავლეთა თეორიას. მისი მიდგომა პროცედურულია და ზოგად არქიტექტურას განსაზღვრავს მისი კომპონენტების შეტანის/გამოტანის პირობების, ასევე, სისტემის ფუნქციონალური ნაკადის მიხედვით. დეკლარაციული სპეციფიკაცია უნდა იყოს საკმარისად ზოგადი, რათა უზრუნველყოს მყარი მათემატიკური დასაბუთება და სტრუქტურის

5 სიტყვა „შემთხვევითი“ აქ გამოყენებულია არისტოტელეს ფილოსოფიური ტრადიციის მიხედვით, რომელიც განარჩევდა აუცილებელს და შემთხვევითს.

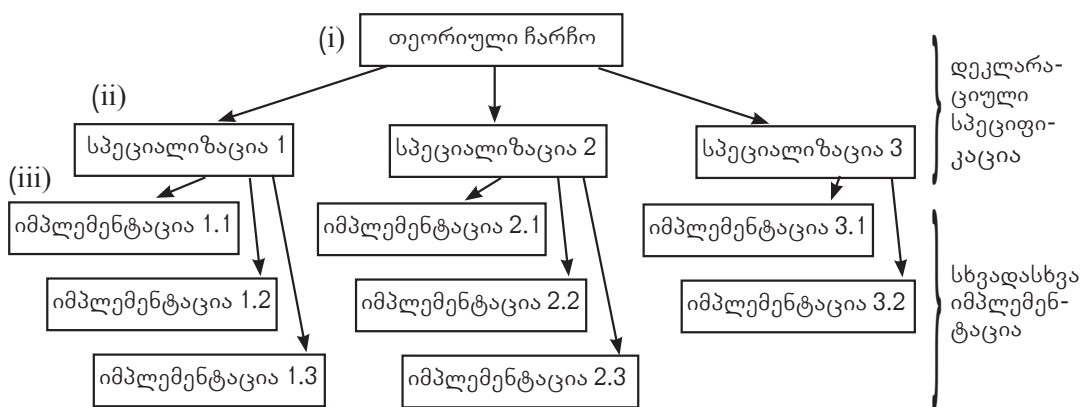
6 LA-გრამატიკის ალგებრული განსაზღვრისას (Hausser, R. (1989) *Computation of Language, An Essay on Syntax, Semantics, and Pragmatics in Natural Man-Machine Communication*, Symbolic Computation: Artificial Intelligence, pp. 425, Berlin Heidelberg New York: Springer) მნიშვნელოვანწილად ვისარგებლეთ დანა სკოტის დახმარებით.

აღწერა, და საკმარისად დეტალური, რათა ადვილად იძლეოდეს პროგრამირების საშუალებას განსხვავებულ გარემოშიც.

დეკლარაციული სპეციფიკაცია იმიტომ არის საჭირო, რომ ადამიანი ადვილად ვერ წაიკითხავს მანქანურ კოდს. ის პროგრამებიც კი, რომელიც დაწერილია მაღალი დონის პროგრამულ ენაზე, მაგალითად, Lisp-ზე, მხოლოდ ექსპერტებისთვისაა გასაგები. პროგრამას კი მხოლოდ იმ ამოცანის აბსტრაქტული ფუნქციონალური გადაწყვეტა უნდა მოეთხოვებოდეს, რომლისთვისაც არის შექმნილი.

კონკრეტული დეკლარაციული სპეციფიკაცია ორი დონისგან შედგება: (i) ზოგადი თეორიული ჩარჩო (მაგ., ბუნებრივ ენაზე წარმოებული კომუნიკაციის ფუნქციონალური სისტემა) და (ii) ზოგადი ჩარჩოს სპეციფიკაცია კონკრეტული გამოყენებისთვის (მაგ., ინგლისური, გერმანული, კორეული ან ნებისმიერი სხვა ბუნებრივი ენისთვის). თეორიული ჩარჩო სპეციალიზებულ ვერსიასთან ერთად, თავის მხრივ, შეიძლება რეალიზებულ იქნეს (iii) სხვადასხვა ფორმით, მაგალითად, Lisp-ზე, C-ზე ან Java-ზე დაწერილი პროგრამით.

1.2.1 დეკლარაციული სპეციფიკაციის და იმპლემენტაციის ურთიერთმიმართება



დეკლარაციულ სპეციფიკაციას შეიძლება ჰქონდეს არსებითი მახასიათებლების თვალსაზრისით ერთმანეთის ეკვივალენტური მრავალი სხვადასხვა იმპლემენტაცია. მონაცემთა ბაზის სემანტიკაში შესაბამის დეკლარაციულ სპეციფიკაციას ყოველთვის უნდა ერთვოდეს სულ მცირე ერთი განახლებული იმპლემენტაცია, რათა შესაძლებელი იყოს თეორიის (დამუშავების არსებულ ეტაპზე) ფუნქციონირების დემონსტრირება და მისი გამოცდა სხვადასხვა ამოცანების გადაჭრისთვის. ამ გზით შეიძლება განისაზღვროს მოცემულ

COMPUTATION

ეტაპზე არსებული შეცდომები, არასრულობა და სუსტი მხარეები (ჰიპოთეზის ექსპლიციტური ჩამოყალიბება), რაც აუცილებელი წინაპირობაა დეკლარაციული სპეციფიკაციის მომდევნო, გაუმჯობესებული ვარიანტის შემუშავებისთვის.

მონაცემთა ბაზის სემანტიკის ვერიფიკაციის მეთოდი არის თეორიის ჩამოყალიბებისა და მისი ავტომატური გამოცდის პროცედურა. ის განსხვავდება როგორც საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში გამოყენებულ რაოდენობრივი მეთოდებისგან (ექსპერიმენტების განმეორებადობა), ისე მათემატიკაში მიღებული ლოგიკურ-აქსიომატური მეთოდებისგან (არანინაალმდეგობრიობის დამტკიცება), თუმცა თავსებადია მათთან.

მონაცემთა ბაზის სემანტიკის ვერიფიკაციის მეთოდი⁷ მნიშვნელოვანია შემდეგ მიზეზთა გამო. ჯერ ერთი, ბუნებრივი ენის ნიშნები ეფუძნება პირობითობის პრინციპს, რაც არ ექვემდებარება საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში მიღებულ რაოდენობრივ მეთოდებს. მეორეც, ბუნებრივ ენათა ანალიზი ლინგვისტიკასა და მომიჯნავე დისციპლინებში, კერძოდ, ენის ფილოსოფიაში უამრავ სკოლასა და ქვესკოლას შორისაა გადანაწილებული და დგება მათი შედარებითი შეფასების საკითხი.

1.3 გაიგივების პრინციპი

მონაცემთა ბაზის სემანტიკა მიზნად ისახავს ხელოვნურ აგენტებს შორის ენობრივი კომუნიკაციის მაქსიმალურად ბუნებრივ მოდელირებას ორი მიზეზის გამო. ჯერ ერთი, პრაქტიკული პროგრამები რაც შეიძლება იოლი მოსახმარი უნდა იყოს. ადამიანი-მანქანის ურთიერთობაში იოლი გამოყენება ნიშნავს, რომ ადამიანს და რობოტს ერთმანეთის უნდა ესმოდეთ (i) სწორად და (ii) ადამიანს არ უნდა უწევდეს მანქანასთან ადაპტირება.⁸

7 იხ. ასევე Hausser, R. (1999/2001) *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language, 2nd ed.*, pp. 78, Berlin Heidelberg New York: Springer, შესავალი VII-X.

8 ამისთვის რობოტს უნდა ჰქონდეს ადამიანური ცნებების პროცედურული კორელატები. მაგალითად, სიტყვა red-ის გასაგებად რობოტს უნდა შეეძლოს სიმრავლიდან ფიზიკურად გამოარჩიოს წითელი ობიექტები; იმისთვის, რომ გაიგოს ცნება happily surprised, მას უნდა შეეძლოს ამ ემოციის განცდა.

თუმცა, იმის გათვალისწინებით, რომ ასეთი ტიპის ადაპტირებას კიდევ დასჭირდება რაღაც დრო, ლუ გვთავაზობს თანამედროვე რობოტის შესაძლებლობების გამოყენებას ადამიანის მიერ მართული პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტისას (Liu, Haitao, "Some ideas on natural language processing," in *Terminology Standardization and Information Technology* 2001, 1:23-27). ეს არის გონივრული გადაწყვეტილების კარგი მაგალითი; ისეთივე, როგორც მანქანურ თარგმნაში შეზღუდული ენის გამოყენება (შდრ. Hausser, R. *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language, 2nd ed.*, 1999/2001, pp. 78, Berlin Heidelberg New York: Springer გვ. 47).

მეორეც, გრძელვადიან პერსპექტივაში უზრუნველყოფილ უნდა იქნეს თეორიის სრულყოფის შესაძლებლობა. მოლაპარაკე რობოტის კონსტრუქციის სრულყოფა ნიშნავს იმას, რომ დაუბრკოლებლად შეიძლებოდა მოცემული პროტოტიპიდან ფუნქციონალურად უფრო სრულყოფილ და/ან მონაცემთა გაფართოებულ ბაზაზე მომუშავე პროტოტიპზე გადასვლა.⁹ მეცნიერების ისტორია ცხადყოფს, რომ ასეთი სრულყოფის სიძნელე პრაქტიკულად ყოველთვის მიუთითებდა ფუნდამენტურ პრობლემაზე შესაბამის თეორიაში.¹⁰

იმისთვის, რომ გრძელვადიან პერსპექტივაში უზრუნველყოს ადვილი გამოყენება და სრულყოფის შესაძლებლობა, მონაცემთა ბაზის სემანტიკა უნდა ცდილობდეს აბსტრაქციის სხვადასხვა დონეზე მაქსიმალურად დაუახლოვდეს ე.წ. „ფსიქოლოგიურ რეალობას“. ამ მიზნით გთავაზობთ შემდეგ პრინციპს, რომელიც თეორიული აღწერის სისწორეს აიგივებს ელექტრონული მოდელის (მოლაპარაკე რობოტის პროტოტიპის) ქცევით ადეკვატურობასთან.

1.3.1 მონაცემთა ბაზის სემანტიკის „აიგივების“ პრინციპი

1. რაც უფრო რეალისტურია ცნობიერების რეკონსტრუქცია, მით უკეთ ფუნქციონირებს მოდელი.

2. რაც უკეთ ფუნქციონირებს მოდელი, მით უფრო რეალისტურია ცნობიერების რეკონსტრუქცია.

„აიგივების პრინციპის“ პირველი ნაწილი გულისხმობს დახმარებას მომიჯნავე დისციპლინებისგან და მათთან დაახლოებას პროტოტიპის მუშაობის გასაუმჯობესებლად. ეს, მაგალითად, ნიშნავს იმას, რომ ჩვენ თავიდან ავიცილებთ წინააღმდეგობას ფილოგენეტიკურ და ონტოგენეტიკურ განვითარებასთან დაკავშირებულ უკვე დადგენილ ფაქტებთან ან დასაბუთებულ ჰიპოთეზებთან, რომელსაც ეთნოლოგია და ევოლუციური ფსიქოლოგია

9 მაგალითად, ფუნქციური სისრულე გულისხმობს ზოგადად, სიტყვა-ფორმის ამოცნობის უნარს. მონაცემთა ბაზის გაფართოება იმას ნიშნავს, რომ ენის სულ უფრო მეტი და მეტი სიტყვა-ფორმის ამოცნობა იქნება შესაძლებელი; ფუნქციური სისრულე, ასევე, მოითხოვს კონტექსტური ქმედების განხორციელების პრინციპულ უნარს. მონაცემთა ბაზის გაფართოება კი ამ შემთხვევაში ნიშნავს, რომ გაჩნდება სულ უფრო მეტი ტიპის კონტექსტური ქმედების (როგორებიცაა სხვადასხვა ტიპის გადაადგილება, მანიპულაცია და სხვ.) შესაძლებლობა.

10 ჭეშმარიტულ-პირობით სემანტიკაში ასეთ სრულყოფასთან დაკავშირებული პრობლემები გაჩნდა მაშინ, როცა ცდილობდნენ გადაეჭრათ ეპიმენიდეს პარადოქსით, აგენსი-პროპოზიციის მიმართებითა და ორაზროვნებით გამონვეული სირთულეები; გენერატიულ გრამატიკაში კი — შემადგენელთა სტრუქტურის პარადოქსთან და ელიფსურ კონსტრუქციებთან დაკავშირებული საკითხების გადაჭრისას.

COMPUTATION

გვთავაზობს და გავითვალისწინებთ მათემატიკური სირთულის თეორიის შედეგებს (არაამოხსნადი და ექსპონენციური ალგორითმების გამოსარიცხად).

„გაიგივების პრინციპის“ მეორე ნაწილი უზრუნველყოფს ევრისტიკულ სტრატეგიას იმის გათვალისწინებით, რომ ცნობიერების (აბსტრაქციის სხვადასხვა დონეზე) „რეალური“ სტრუქტურა არ ექვემდებარება უშუალო დაკვირვებას.¹¹ ჩვენი სტრატეგიის გამოყენებით ვცდილობთ მივაღწიოთ რეალისტურ რეკონსტრუქციას არაპირდაპირ და ფუნქციონალურ სრულყოფასა და მონაცემთა სრულ დაფარვას უზრუნველყოფთ ხელოვნური ცნობიერი აგენტის თანდათანობითი გაუმჯობესებით.

1.4 ობიექტურობის პრინციპი

ცნობიერების ფუნქციონალური რეკონსტრუქციისთვის ზოგადად, და კერძოდ, ბუნებრივ ენაზე წარმოებული კომუნიკაციის შემთხვევაში გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის მონაცემები. განსხვავება განპირობებულია ნაწილობრივ იმ კონსტელაციების მრავალფეროვნებით, საიდანაც მომდინარეობს მონაცემები, ნაწილობრივ კი იმ სხვადასხვაგვარი არხებით, რომლებიც გამოიყენება შესაბამის კონსტელაციებში.

კონსტელაციებს განსაზღვრავს ურთიერთქმედებები (i) მომხმარებელს, (ii) მეცნიერს და (iii) ელექტრონულ მოდელს (რობოტს) შორის. ისინი ასე განირჩევა:

1.4.1 კონსტელაციები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სხვადასხვა ტიპის მონაცემებს

1. ურთიერთქმედება (i) მომხმარებელსა და (iii) რობოტს შორის
2. ურთიერთქმედება (i) მომხმარებელსა და (ii) მეცნიერს შორის
3. ურთიერთქმედება (ii) მეცნიერსა და (iii) რობოტს შორის

კონსტელაციის ტიპის მიხედვით მონაცემები შეიძლება გადაიცეს შემდეგი არხებით:

¹¹ გამონაკლისია ცენტრალური ცნობიერების პირდაპირი შესწავლა ნევროლოგიაში, კერძოდ, ფუნქციონალური მაგნიტურ-რეზონანსური ტომოგრაფიის საშუალებით (შდრ. Matthews, P.M., J. Adcock, Y. Chen, S. Fu, J. T. Devlin, M. F. S. Rushworth, S. Smith, C. Beckmann, and S. Iversen (2003) “Towards understanding language organisation in the brain using fMRI” in *Human Brain Mapping* 18.3: 239–247; Jezzard, P., P.M. Matthews, and S. Smith (2001) *Functional Magnetic Resonance Imaging: An Introduction to Methods*. Oxford: Oxford Univ. Press). მაგრამ დღესდღეობით ეს მონაცემები განსხვავებული ინტერპრეტაციის შესაძლებლობას იძლევა და გამოიყენება ურთიერთსაწინააღმდეგო თეორიების დასასაბუთებლად. (შდრ. Matthews, P.M., J. Adcock, Y. Chen, S. Fu, J. T. Devlin, M. F. S. Rushworth, S. Smith, C. Beckmann, and S. Iversen (2003) “Towards understanding language organisation in the brain using fMRI” in *Human Brain Mapping* 18.3: 239–247; Jezzard, P., P.M. Matthews, and S. Smith (2001) *Functional Magnetic Resonance Imaging: An Introduction to Methods*. Oxford: Oxford Univ. Press).

1.4.2 კომუნიკაციური ურთიერთქმედების მონაცემთა არხები

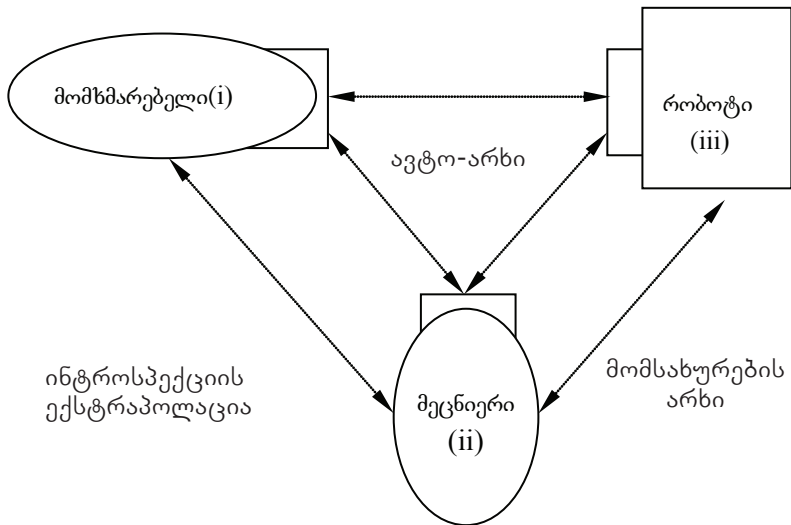
1. ავტო-არხი შემაჯავალ ინფორმაციას ამუშავებს ავტომატურად და გამომაჯავალ ინფორმაციას იძლევა ავტონომიურად როგორც კონტექსტურ, ისე ენობრივ დონეზე. ბუნებრივ ცნობიერ აგენტებში, ანუ მომხმარებელსა და მეცნიერში, ავტო-არხი თავიდანვე სრული დატვირთვით მუშაობს. ამის საპირისპიროდ, ხელოვნურ აგენტებში ხდება ავტო-არხის რეკონსტრუქცია – და მონაცემთა ბაზის სემანტიკის მიზანია, მისი რეკონსტრუქცია რაც შეიძლება რეალისტურად განახორციელოს.

2. ინტროსპექციის ექსტრაპოლაცია არის ავტო-არხის სპეციალიზაცია და მომდინარეობს მეცნიერის მცდელობიდან გააუმჯობესოს ადამიანი-მანქანის კომუნიკაცია ადამიანი-მომხმარებლის პოზიციიდან. ეს შესაძლებელია იმიტომ, რომ მეცნიერიც და მომხმარებელიც ბუნებრივი აგენტები არიან.

3. მომსახურების არხი შემუშავებულია მეცნიერის მიერ, რათა მან შეძლოს ხელოვნურ აგენტზე დაკვირვება და მისი კონტროლი. მისი საშუალებით ხორციელდება რობოტის ცნობიერების პირდაპირი წვდომა, რადგანაც მისი კოგნიტიური არქიტექტურა და ფუნქციონირება აბსოლუტურად გასაგები უნდა იყოს მეცნიერისთვის.

ეს სამი კონსტელაცია და როლი, რომელსაც მონაცემთა არხები თამაშობენ მომხმარებელს, მეცნიერსა და რობოტს შორის ურთიერთქმედებაში, გრაფიკულად ასე შეიძლება წარმოვადგინოთ:

1.4.3 ურთიერთქმედება მომხმარებელს, რობოტსა და მეცნიერს შორის



COMPUTATION

მეცნიერი აკვირდება მომხმარებლისა და რობოტის გარეგან ქცევას ავტოარხის საშუალებით, ე.ი. მეცნიერი ხედავს, თუ რას აკეთებენ ისინი, და მათი გამოკითხვაც შეუძლია ამის თაობაზე. ამის გარდა, მეცნიერი აკვირდება (a) მომხმარებლის კოგნიტიურ მდგომარეობას არაპირდაპირ, მეცნიერულად დასაბუთებული ინტროსპექციის ექსტრაპოლაციის საშუალებით და (b) რობოტის კოგნიტიურ მდგომარეობას – უშუალოდ, მომსახურების არხის საშუალებით. მეცნიერისთვის მომხმარებელიც და რობოტიც სამყაროს ერთნაირად რეალური აგენტები არიან და მათ კოგნიტიურ მდგომარეობებსაც ერთი და იგივე ონტოლოგიური სტატუსი აქვთ.

ამ სამი არხიდან ავტოარხი ხელმისაწვდომია მომხმარებლისთვის, რობოტისთვის და მეცნიერისთვის. ეს არხი ყველაზე ხშირად გამოიყენება, მაგრამ ამავე დროს შეცდომის ყველაზე მეტ რისკსაც შეიცავს: მაგალითად, კონტექსტის დონეზე ჩნდება ვიზუალური ილუზიები, ენობრივ დონეზე კი არასწორი ინტერპრეტაციები. ამას გარდა, გასათვალისწინებელია იმის შესაძლებლობაც, რომ დისკურსში მონაწილე პარტნიორმა დაამახინჯოს სიმართლე – გაცნობიერებულად ან გაუცნობიერებლად.

თუკი დისკურსის პარტნიორთან წვდომა შეზღუდული იქნება ავტოარხით, ჩვენ ბოლომდე დარწმუნებული ვერ ვიქნებით იმაში, რომ ის, რაც ითქვა, ისე იქნა გაგებული ჩვენ მიერ, როგორც ამას მთქმელი ვარაუდობდა, ან ჩვენთვის ნამდვილად გასაგებია მოლაპარაკის განზრახვა, ან ის, თუ რაც ითქვა, ნამდვილად სიმართლე იყო. ფილოსოფიაში ეს ერთ-ერთი ყველაზე განსჯადი პრობლემაა და ცნობილია სოლიფსიზმის სახელით (ვიტგენშტაინი 1921).

მაგრამ ბუნებრივენოვანი კომუნიკაციის მეცნიერული ანალიზისთვის არსებობს სხვა პრიორიტეტული არხები: (i) ინტროსპექციის ექსტრაპოლაცია და (ii) მომსახურების არხი. ინტროსპექციის ექსტრაპოლაციაში მეცნიერსა და მომხმარებელს შორის დისკურსი შეზღუდულია მომხმარებელი-რობოტი ურთიერთქმედების სივრცით. ამდენად, გაუგებრობის ალბათობა მეცნიერსა და მომხმარებელს შორის გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე თავისუფალი კომუნიკაციის შემთხვევაში, თუმცა მაინც არსებობს. ამის გარდა, რობოტთან უშუალო წვდომა მომსახურების არხის საშუალებით შესაძლებლობას აძლევს მეცნიერს ობიექტურად განსაზღვროს, თუ რამდენად ადეკვატურად ფუნქციონირებს ხელოვნური აგენტის ცნობიერება. შესაბამისად, ხელოვნური ცნობიერი აგენტები იმითაც გამოირჩევიან, რომ მათზე არ ვრცელდება სოლიფსიზმის პრობლემა.

1.5 ინტერფეისისა და შემავალი/გამომავალი მონაცემების ეკვივალენტობის პრინციპი

მონაცემთა ბაზის სემანტიკის აქამდე წარმოდგენილი მეთოდოლოგიური პრინციპები, კერძოდ:

1. ვერიფიკაციის პრინციპი

ანუ თეორიის შემუშავება დეკლარაციული სპეციფიკაციის ფორმით, რომელიც განუწყვეტლივ მონმდება გამოყენებული პროტოტიპის საშუალებით (იხ. ქვეთავი 1.2),

2. გაიგივების პრინციპი

ანუ თეორიული სისწორის გაიგივება პროტოტიპის ქცევით ადეკვატურობასთან გრძელვადიანი სრულყოფის პროცესში (შდრ. ქვეთავი 1.3) და

3. ობიექტურობის პრინციპი

ანუ ბუნებრივ და ხელოვნურ აგენტებს შორის ენობრივი კომუნიკაციაზე დაკვირვების ობიექტური არხების შექმნა (შდრ. ქვეთავი 1.4),

შეზღუდულია

4. ინტერფეისის ეკვივალენტობის პრინციპით და

5. შემავალი/გამომავალი მონაცემების ეკვივალენტობის პრინციპით.

ინტერფეისის ეკვივალენტობის პრინციპის (4) თანახმად, ხელოვნური სუროგატიალჭურვილიუნდა იყოს იმავე ინტერფეისით გარესამყაროს მიმართ, როგორც მისი ბუნებრივი ორიგინალი. აბსტრაქციის უმაღლეს დონეზე ეს გულისხმობს ამოცნობისა და ქმედების გარეგან ინტერფეისებს: პირველს – კონტექსტის, და მეორეს – ენის შემთხვევაში (შდრ. 2.1.3). აბსტრაქციის ყველაზე დაბალ დონეზე ხდება ამ ინტერფეისების დიფერენციაცია ხედვის, აუდიო, შეხების და ა.შ. მოდალობებად (შდრ. ქვეთავი 2.2) ამოცნობის შემთხვევაში და გადაადგილების, მანიპულაციის და ა.შ. მოდალობებად ქმედების შემთხვევაში.

ინტერფეისის ეკვივალენტობა მოდელსა და ბუნებრივ ორიგინალს შორის უაღრესად მნიშველოვანია რეფერენციის, ანუ ენასა და სამყაროს შორის ურთიერთობის ავტომატური რეკონსტრუქციისთვის. მაგალითად, თუ რობოტს არ შეუძლია აღქმა, ის ვერ გაიგებს ადამიანის რეფერენციას ახალი ობიექტის მიმართ მათთვის საერთო სამუშაო გარემოში. ინტერფეისის

COMPUTATION

ეკვივალენტობის პრინციპი ფუნდამენტურ გავლენას ახდენს ბუნებრივი ენის სემანტიკის თეორიაზე, განსაკუთრებით მის ონტოლოგიურ საფუძვლებზე (მდრ. 2.3.1).

შემაჯავლი/გამომავალი მონაცემების ეკვივალენტობის პრინციპი (5) გულისხმობს ინტერფეისის ეკვივალენტობას (4). შემაჯავლი/გამომავალი მონაცემების ეკვივალენტობა იმას ნიშნავს, რომ ხელოვნური აგენტი (i) იღებს იმავე შემაჯავლ მონაცემებს და გასცემს იმავე გამომავალ მონაცემებს, როგორსაც – ბუნებრივი ორიგინალი, (ii) შემაჯავლ/გამომავალ მონაცემებს ისევე (როგორც ბუნებრივი ორიგინალი) დაშლის ნაწილებად და (iii) ამ ნაწილებს ისევე ანესრიგებს მიღება/გაცემის დროს. შემაჯავლი და გამომავალი მონაცემები, გარეგანი ინტერფეისის მსგავსად, მოცემულია კონკრეტული ფორმით და ამდენად ექვემდებარება ობიექტურ სტრუქტურულ ანალიზს.

შემაჯავლი/გამომავალი მონაცემების ეკვივალენტობა მოდელსა და ბუნებრივ ორიგინალს შორის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბუნებრივ ენაზე წარმოებული კომუნიკაციის დროს გამოყენებული ნიშნების ავტომატური ინტერპრეტაციისა და წარმოებისთვის. ამდენად, ეს პრინციპი ფუნდამენტურ ზეგავლენას ახდენს ბუნებრივი ენის გრამატიკის თეორიაზე.

ეკვივალენტობის ეს ორი პრინციპი არის მინიმალური მოთხოვნა ზოგადად ცნობიერების ნებისმიერი მეცნიერული რეკონსტრუქციისათვის და, კონკრეტულად, ბუნებრივ ენის კომუნიკაციის მექანიზმის რეკონსტრუქციისათვის. ამას შემდეგი მიზეზები განაპირობებს: ჩვენ რომ გვქონოდა უშუალო წვდომა ცნობიერების არქიტექტურასა და ფუნქციონირებასთან, როგორც ესაა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში სხეულის ორგანოების ფიზიკური სტრუქტურებისა და ფუნქციების კვლევისას (ანატომია, ფიზიოლოგია, ქიმია, ფიზიკა), საბოლოო მოდელს უნდა დაეკმაყოფილებინა ინტერფეისის ეკვივალენტობისა და შეტანილი/გამოსული მონაცემების ეკვივალენტობის პრინციპები.

თუკი, უშუალო წვდომის არარსებობის გამო, კოგნიტიური სისტემის ბუნება არაპირდაპირი გზით უნდა დადგინდეს, კერძოდ, ხელოვნური სუროგატის ფუნქციონალური ეფექტურობისა და მონაცემთა ბაზის თანდათანობითი სრულყოფის პროცესში, ეს სრულიადაც არ აკნინებს შეტანილი/გამოსული მონაცემების გარეგანი ინტერფეისის მნიშვნელობას. პირიქით, როგორც კონკრეტული ფორმით მოცემული, უშუალო დაკვირვებას დაქვემდებარებული

სტრუქტურები, ისინი წარმოადგენენ ამოსავალ წერტილებს შინაგანი კოგნიტიური პროცესების მეცნიერულად დასაბუთებული ნებისმიერი რეკონსტრუქციისთვის.

1.6 ზედაპირული კომპოზიციურობა და დროითი წრფივობა

ინტერფეისის ეკვივალენტობისა და შეტანილი/გამოსული მონაცემების ეკვივალენტობის ზოგადი პრინციპები მოითხოვს (i) ბუნებრივი აგენტის ამომცნობი და ქმედების კომპონენტების და (ii) ამ კომპონენტებში გამავალი მონაცემების ფრთხილ ანალიზსა და რეკონსტრუქციას. მონაცემთა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ტიპი არის ბუნებრივი ენის ფრაზები, რომელთა წარმოქმნა ხდება მოლაპარაკის რეჟიმში და ინტერპრეტაცია – მსმენელის რეჟიმში.

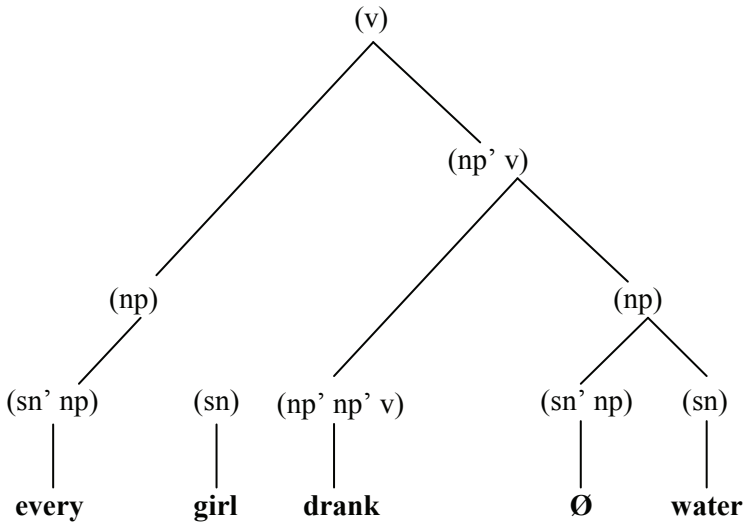
გარეგნულად ეს მონაცემები არის გარკვეული მედიუმის ობიექტები, რომლებიც წარმოადგენილნი არიან ბგერებით, ხელნაწერი ან ბეჭდური ასოებით ან ჟესტების ენის ჟესტებით, რომლებიც შეიძლება ჩანერილ იქნეს ფირზე ან დისკზე და გაიზომოს და აღინეროს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების მეთოდებით. რამდენადაც ეს ობიექტები კონკრეტული ფორმით გვეძლევა, ისინი წარმოადგენენ ლინგვისტური ანალიზის ემპირიულ ბაზისს, რომელსაც არაფერი არ შეიძლება დაემატოს ან მოაკლდეს. ეს ელემენტარული მეთოდოლოგიური პრინციპი ზედაპირული კომპოზიციურობის სახელით არის ცნობილი (SCG'84):

1.6.1 ზედაპირული კომპოზიციურობაგრამატიკული ანალიზი არის ზედაპირულად კომპოზიციური, თუკი ის კომპოზიციის ბლოკებად იყენებს მხოლოდ სიტყვის კონკრეტულ ფორმებს ისე, რომ შედგენილი ფრაზის ყველა სინტაქსური და სემანტიკური თვისება შესაძლებელია სისტემატურად გამოიყვანებოდეს ლექსიკური ერთეულების სინტაქსური კატეგორიებიდან და პირდაპირი მნიშვნელობებიდან.

ზედაპირული კომპოზიციურობის საუკეთესო ილუსტრაცია ის მაგალითებია, რომლებიც არღვევენ ამ პრინციპს. ამის საჩვენებლად მოვიყვანთ შემდეგ გრამატიკულ ანალიზს:

1.6.2 ანალიზი, რომელიც არღვევს ზედაპირული კომპოზიციურობის პრინციპს

COMPUTATION



იმისთვის, რომ სახელადი ფრაზები every girl და water ერთნაირად იყოს ინტერპრეტირებული, ამ ანალიზს შემოაქვს ნულოვანი ელემენტი ∅. მაგრამ მოცემული „ლინგვისტური განზოგადება“ არალეგიტიმურია, რადგან water-ის დეტერმინანტი ზედაპირულ დონეზე არ არის კონკრეტულად გამოხატული.

ამის მიუხედავად, 1.6.2-ის კატეგორიები სწორად მოტივირებულია და შემდეგნაირად განისაზღვრება:

1.6.3 1.6.2-ის კატეგორიები

(sn' np) = დეტერმინანტი, არგუმენტად იღებს სახელს მხოლოდითი რიცხვში (sn') და იძლევა სახელად ფრაზას (np).

(sn) = სახელი მხოლოდით რიცხვში, ავსებს დეტერმინანტში (sn')-ის ვალენტობის ადგილს.

(np' np' v) = გარდამავალი ზმნა, არგუმენტად იღებს სახელურ ფრაზას (np) და იძლევა გარდაუვალ ზმნას (np' v).

(np) = სახელური ფრაზა, ავსებს ზმნაში (np')-ის ვალენტობის ადგილს.

(np' v) = გარდაუვალი ზმნა, არგუმენტად იღებს სახელურ ფრაზას (np)-ს და იძლევა (v)-ს.

(v) = ზმნა, რომელშიც არ არის ვალენტობის თავისუფალი ადგილები (წინადადება).

წესები, რომელთა გამოყენებითაც არის მიღებული მაგალითი 1.6.2, ემყარება დასაშვებ ჩანაცვლებათა პრინციპს და ასე განისაზღვრება:

1.6.4 წესები, რომელთა მეშვეობითაც გამოითვლება დასაშვები ჩანაცვლებები 1.6.2-ის მისაღებად

- (v) → (np) (np' v)
- (np) → (sn' np) (sn)
- (np' v) → (np' np' v) (np)
- (sn' np') → every, Φ
- (sn) → girl, water
- (np' np' v) → drank

ყოველი წესი ანაცვლებს ისრის მარცხნივ დაწერილ კატეგორიას მარჯვნივ მოცემული კატეგორიით (ზევიდან ქვევით მიმართული დერივაცია). ასევე დასაშვებია მარჯვნივ მოცემული კატეგორიების ჩანაცვლება მარცხნივ მოცემული კატეგორიებით (ქვევიდან ზევით მიმართული დერივაცია).

1.6.2-ში რომ არ ყოფილიყო შემოტანილი ნულოვანი დეტერმინანტი, სულ მცირე ერთი წესის დამატება მაინც გახდებოდა საჭირო. მაგრამ ზედაპირული კომპოზიციურობის პრინციპის თანახმად, მეთოდოლოგიურად გაუმართლებელია ისეთი რამის უბრალოდ პოსტულირება, რაც არ არსებობს, თუმცა მიიჩნევა აუცილებლად ან სასურველად.¹² ზედაპირული კომპოზიციურობის დარღვევა მათემატიკური თვალსაზრისით ძალზე ართულებს მოდელს და პრაქტიკულად შეუძლებელს ხდის შესაბამის გამოთვლებს.

ლინგვისტური ანალიზის ბაზისური ელემენტების, კერძოდ, კონკრეტული ნიშნის ზედაპირული დონისა და მათი სტანდარტული ლექსიკური ანალიზის განსაზღვრის შემდეგ მივუბრუნდეთ ამ ბაზისურ ელემენტებს შორის საკუთრივ გრამატიკულ მიმართებებს. წინადადებაში სიტყვებს შორის ყველაზე მარტივი, ელემენტარული მიმართება არის მათი დროით-წრფივი თანმიმდევრობა. დროით-წრფივი ნიშნავს დროის მსგავსად წრფივს და იმავე მიმართულების მქონეს (შდრ. ქვეთავი 3.4).

12 ზედაპირული კომპოზიციურობის დარღვევის საპირისპირო მაგალითია ზედაპირულ დონეზე კონკრეტულად მოცემული სიტყვების იგნორირება მხოლოდ იმიტომ, რომ ისინი მიიჩნევა არააუცილებლად ან არასასურველად რომელიმე „ლინგვისტური განზოგადებისთვის“. ამ საკითხის უფრო დეტალური განხილვა იხ. Hausser, R. (1984) *Surface Compositional Grammar*, pp. 274, Munchen: Wilhelm Fink Verlag და Hausser, R. (1999/2001) *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language, 2nd ed.*, pp. 578, Berlin Heidelberg New York: Springer.

COMPUTATION

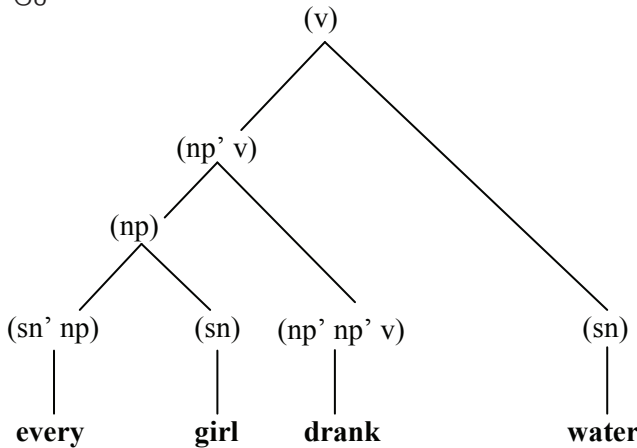
ბუნებრივი ენების დროით-წრფივი სტრუქტურა იმდენად ფუნდამენტურია, რომ მოლაპარაკეს ტექსტის წარმოთქმა შეუძლია მხოლოდ წინადადებების თანმიმდევრული წარმოთქმით, წინადადებისა კი სიტყვების თანმიმდევრული წარმოთქმით. ამგვარად, დროით-წრფივი პრინციპი იმდენად მოიცავს გამოთქმის პროცესს, რომ მოლაპარაკეს შუა წინადადებაში შეუძლია გაგრძელების არჩევა.

შესაბამისად, მსმენელს არ სჭირდება დაელოდოს ტექსტის ან წინადადების დასრულებას და ისე დაიწყოს მისი ინტერპრეტაცია. ამის ნაცვლად, მსმენელი ისე იწყებს წინადადების დასაწყისის ინტერპრეტაციას, რომ არც კი იცის მისი დასასრული.

მაგალითი 1.6.2 არამართო ზედაპირულ კომპოზიციურობას არღვევს, არამედ დროით-წრფივობის პრინციპსაც. გრამატიკული ანალიზი არ არის დროით-წრფივი, რადგან მას არ შეუძლია *every girl*-ისა და *drank*-ის უშუალო კომბინირება. ის ეფუძნება დასაშვებ ჩანაცვლებათა პრინციპს და თავდაპირველად რთული გამონათქვამის – *drank water* – დერივაცია უნდა მოხდეს.

დროით-წრფივი ანალიზი, ამის საპირისპიროდ, შესაძლო გაგრძელების პრინციპს ეფუძნება. მაგალითისთვის განვიხილოთ შემდეგი დროით-წრფივი დერივაცია, რომელშიც გამოყენებულია იგივე კატეგორიები (შდრ. 1.6.3), რომლებიც – არა დროით-წრფივ დერივაციაში (1.6.2):

1.6.5 დერივაცია ზედაპირული კომპოზიციურობისა და დროით-წრფივობის პრინციპების დაცვით:



ამ ქვევიდან ზევით მიმართულ დერივაციაში ხდება წინადადების დასაწყისის კომბინირება შემდეგ სიტყვასთან და იქმნება წინადადების ახალი დასაწყისი. ამ პროცესს წარმართავს მარცხნივ-ასოციაციური გრამატიკის შემდეგი

(გამარტივებული) წესები:

1.6.6 1.6.5-ის დერივაციისთვის შესაძლო გაგრძელების გამოთვლის წესები

$$(VAR' X) (VAR) \Rightarrow (X)$$

$$(VAR) (VAR' X) \Rightarrow (X)$$

თითოეული წესი შედგება სამი კომპონენტისგან. ეს კომპონენტები შეიცავენ ცვლადებს VAR, VAR', და X.¹³

წესის პირველი კომპონენტი, მაგ., (VAR' X), გამოხატავს წინადადების დასაწყისს – *ss*, მეორე კომპონენტი, მაგ., (VAR), აღნიშნავს შემდეგ სიტყვას *nw*, მესამე კომპონენტი, მაგ., (X) – შედეგად მიღებულ წინადადების დასაწყისს *ss'*. ცვლადები VAR და VAR' აღნიშნავენ სეგმენტებს, რომლებიც მხოლოდ ერთ კატეგორიას შეიცავენ, ხოლო ცვლადი X-ი აღნიშნავს კატეგორიათა თანმიმდევრობას, რომელიც შედგება ნული ან მეტი ელემენტისგან.

შესაძლო გაგრძელების გამოთვლის წესები ეფუძნება მათი მოდელების დაკავშირებას შემავალ გამონათქვამებთან და, ამდენად, მათი ცვლადების მიზმას შესაბამის კატეგორიებთან:

1.6.7 შესაძლო გაგრძელების გამომთვლელი წესის გამოყენება

	<i>ss</i>	<i>nw</i>	<i>ss'</i>	
წესის მოდელები	(VAR'	X)	(VAR)	⇒ (X)
კატეგორიები	(sn'	np)	(sn)	(np)
ზედაპირული დონე	every	girl	every girl	

დაკავშირება და მიზმა

დაკავშირებისას ცვლადი VAR' „ვერტიკალურად“ მიზმულია sn'-ზე, ცვლადი X-ი – np-ზე და ცვლადი VAR მიზმულია sn-ზე. შედეგად, ხდება (sn' np) დეტერმინანტის კატეგორიაში sn'-ის ვალენტობის ადგილის შევსება (ან გაუქმება) და მიიღება (np)-ის კატეგორიის *ss'*, ხოლო მონაცემთა შეყვანის დონეზე ხდება every-ისა და girl-ის კონკატენაცია every girl-ად.

ზმნისა და დეტერმინანტიანი ან უდეტერმინანტო ობიექტი-სახელის კომბინირებისთვის, მაგ., ...drank + a cokevs. ...drank + water, ისე, როგორც ამას

¹³ მონაცემთა ბაზის სემანტიკის ფარგლებში მიღებული პრაქტიკის თანახმად კონსტანტები აღინიშნება არამთავრული ლათინური ასოებით, ხოლო ცვლადები მთავრული ლათინური ასოებით ან არამთავრული ბერძნული ასოებით.

COMPUTATION

ზედაპირული კომპოზიციურობა მოითხოვს, ცვლადების VAR და VAR'-ის მნიშვნელობები იზღუდება და მათი კორელაცია ამგვარ ფორმას იღებს:

1.6.8 ცვლადების განსაზღვრა დროით-ნრფივ წესებში 1.6.5-ის მისაღებად თუ VAR' არის sn', მაშინ VAR არის sn. (იგივეობაზე დამყარებული შეთანხმება) თუ VAR' არის np', მაშინ VAR არის np, sn ან pn. (განსაზღვრებაზე დამყარებული შეთანხმება)

1.6.5–1.6.8-ში მოცემული დროით-ნრფივი დერივაციის ფორმალიზმი ნინასნარი და არასაბოლოოა. ის (LISP სანყისი კოდით) გამოყენებულ იქნა NEWCAT'86-ში 221 გერმანული და 114 ინგლისური სინტაქსური კონსტრუქციის დროით-ნრფივი ანალიზისთვის. ის, ასევე, გამოიყენეს CoL'89-ში 421 ინგლისური სინტაქსურ-სემანტიკური კონსტრუქციისთვის ნიშანზე ორიენტირებულ, იერარქიულ სემანტიკურ ანალიზთან ერთად.

2. ინტერფეისები და კომპონენტები

ის ფაქტი, რომ კოგნიტიურ აგენტებს აქვთ სხეული¹⁴ და ინტერფეისი გარესამყაროდან კოგნიტიური შინაარსის მისაღებად (ამოცნობა) და ანალოგიური შინაარსის გარე სამყაროსთვის გადასაცემად (ქმედება), საკამათო არ უნდა იყოს. ინტერფეისის მახასიათებლები შეიძლება დადგინდეს გარედან – სხვა აგენტების გარემოსთან და ერთმანეთთან ურთიერთქმედებაზე დაკვირვებით, და შიგნიდან – აგენტის მიერ საკუთარი ინტერფეისის ფუნქციონირებაზე დაკვირვებით ინტროსპექციის საშუალებით (შდრ. 1.4.3). ამის გარდა, არსებობს გარეგანი ინტერფეისის ორგანოების ანალიზიც, რასაც უზრუნველყოფს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები – ფსიქოლოგია, ანატომია და ამ ორგანოების მოდელირება რობოტიკაში.

ამავე დროს, ცნობიერების რეკონსტრუქციის დაწყება აგენტების გარეგანი ინტერფეისების შესწავლით განაპირობებს მონაცემთა ბაზის სემანტიკის ონტოლოგიური საფუძვლების ისეთ განსაზღვრას, რომელიც მას შეუთავსებელს ხდის ნიშანზე ორიენტირებულ ტრადიციულ თეორიებთან. ამის მიზეზი ისაა, რომ ნიშანზე ორიენტირებული თეორიები კოგნიტიურ აგენტს არ იკვლევენ და სემანტიკას განსაზღვრავენ როგორც პირდაპირ მიმართებას „ენასა და სამყაროს“

14 სხეულის როლზე კიდევ ერთხელ გამახვილდა ყურადღება ემერჯენტიზმის ფარგლებში, შდრ. MacWhinney, B. (ed.) (1999) *The Emergence of Language from Embodiment*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

შორის. ასეთ მიდგომას შეიძლება გარკვეული უპირატესობა ჰქონდეს, მაგრამ აგენტის გარეშე ვერ იარსებებს გარეგანი ინტერფეისი, ხოლო კოგნიტიური თეორია გარეგანი ინტერფეისის გარეშე ვერ შეასრულებს მოლაპარაკე რობოტის მართვის ბლოკის ფუნქციას.

არსებობს იმის შესაძლებლობაც, რომ გარეგანი ინტერფეისის არმქონე, ნიშანზე ორიენტირებული თეორიები გაფართოვდეს ისე, რომ შეიძინოს ეს მახასიათებელიც. მაგრამ ეს არც ისე იმედის მომცემი პერსპექტივაა, როგორც ეს აჩვენა პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარებამ: მოქმედი პროგრამის ნაწილს პრაქტიკულად ვერასდროს გავაფართოვებთ ისე, რომ მოიცვას ის ინტერფეისი, რომელიც გამოგვრჩა პროგრამის თავდაპირველი შემუშავების დროს – გარდა იმ შემთხვევებისა, როცა ხერხდება კონკრეტულ სიტუაციაზე მორგებული საგანგებო ზომების მიღება პროგრამის რომელიმე არაფუნდამენტური მახასიათებლის ეფექტურად შესაცვლელად. მსგავსი პრობლემების გადასაჭრელად პროგრამა თავიდან უნდა დაიწეროს.

2.1 კოგნიტიური აგენტები, რომლებიც ფლობენ ენას და აგენტები, რომლებიც ენას არ ფლობენ

არსებობენ ისეთი კოგნიტიური აგენტები, რომლებიც არ ფლობენ ენას და, ამის მიუხედავად, აქვთ ენის მფლობელი კოგნიტიური აგენტების მსგავსი გარეგანი ინტერფეისი. მაგალითად, ამოცნობისთვის ციყვს აქვს ორი თვალი, ორი ყური, ცხვირი და ა.შ., ხოლო ქმედებისთვის — ხელები, უკანა ფეხები, პირი და ა.შ. მას შეუძლია თხილის ჩამარხვა და როცა დასჭირდება, თუნდაც დიდი ხნის გასვლის შემდეგ, მისი ამოღება და ჭამა.

ჩვენი ტერმინოლოგიით, ციყვს აქვს ძალიან კარგი კონტექსტური კომპონენტი, მაგრამ არ აქვს ენობრივი კომპონენტი.¹⁵ რომ შეგვეძლოს ხელოვნური ციყვის ცნობიერების გამოყენება ჩვენ კონტექსტად, მის ყურებს მივანიჭებდით ენის მოსმენის უნარს, დავამატებდით სინთეზატორებს ლაპარაკისთვის, აღვჭურვავდით დიდი გამომთვლელი სიმძლავრით და შევქმნიდით თეორიას ბუნებრივენოვანი კომუნიკაციისთვის მის გამოსაყენებლად. ასეთი თეორია არის ამ წიგნის მთავარი თემა.

თუმცა, რამდენადაც დღესდღეობით ხელოვნური ციყვები არ მოგვეპოვება,

15 თუმცა ეს შეიძლება საკამათოც იყოს. იხ. Hauser, M. D. (1996) *The Evolution of Communication*. Cambridge, MA: MIT Press

COMPUTATION

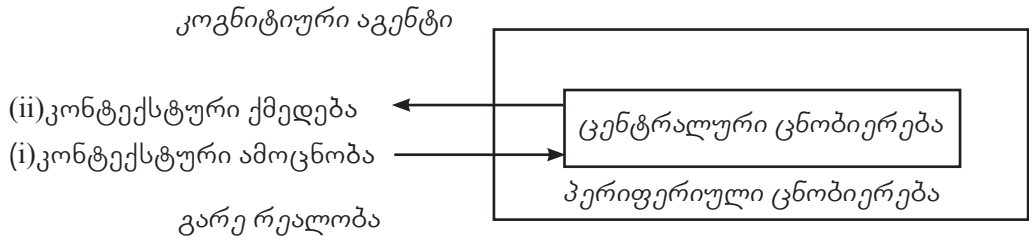
მოკლედ ჩამოვყალიბებთ საჭირო კონტექსტური კომპონენტის საბაზისო სტრუქტურას.

2.1.1 რატომ არის მიზანშეწონილი პირველ რიგში კონტექსტური კომპონენტის აგება

1. კონტექსტურ დონეზე შექმნილი კონსტრუქციები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ენობრივ დონეზეც. ეს ეხება (i) ცნებებს – როგორც კლასს, და, ასევე, კონკრეტულ ელემენტს, (ii) გარეგან ინტერფეისს შემავალი და გამომავალი მონაცემებისთვის (iii) მონაცემთა სტრუქტურას, (iv) ალგორითმს და (v) ინტერფეისებს.
2. კონტექსტი უნივერსალურია – იმ გაგებით, რომ ის არ არის დამოკიდებული კონკრეტულ ენაზე მაშინ, როცა შესაძლებელია ყველა განსხვავებული ენის ინტერპრეტაცია ერთი და იმავე ტიპის კონტექსტური კომპონენტის მიმართ.
3. ფილოგენეზში (ევოლუციაში) და ონტოგენეზში (ბავშვის განვითარებაში) კონტექსტური კომპონენტი რიგით პირველია.

კონტექსტური კომპონენტის გარეგანი ინტერფეისი შეესაბამება არაენოვანი კოგნიტიური აგენტის ინტერფეისს და შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი სქემით:

2.1.2 არაენოვანი კოგნიტიური აგენტის გარეგანი ინტერფეისი



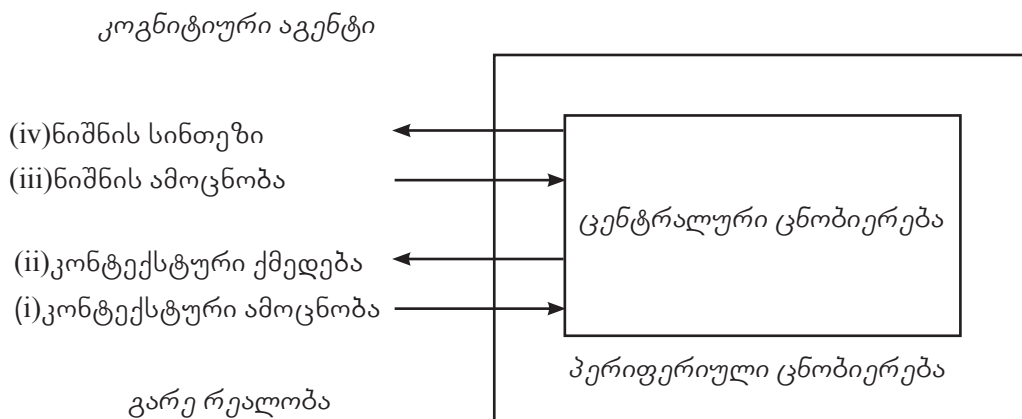
არსებული მიზნების შესაბამისად, ინტერფეისს წარმოვადგენთ აბსტრაქციის ძალზე მაღალი დონით იმგვარად, რომ ამ შემთხვევაში ამოცნობის და ქმედების ერთმანეთისგან გარჩევა სრულიად საკმარისია.

გარეგანი ინტერფეისის დიფერენციაცია სხვადასხვაგვარ მოდალობებად, როგორებიცაა ხედვა, სმენა, გადაადგილების ტიპები, მანიპულაცია და ა.შ., განხილული იქნება ქვეთავში 2.2. აქ ეს რელევანტურია იმდენად, რამდენადაც პერიფერიული ცნობიერება ამოცნობის პროცესში სხვადასხვა ინტერფეისის ჰეტეროგენულ, მოდალობაზე დამოკიდებულ მონაცემებს გარდაქმნის

ცენტრალური ცნობიერების ჰომოგენურ კოდად. ქმედების („ამოცნობის“ საპირისპირო ტერმინი – მთარგ. შენ.) პროცესში პერიფერიული ცნობიერება ცენტრალური ცნობიერების ჰომოგენურად კოდირებულ ბრძანებებს გარდაქმნის მოდალობაზე დამოკიდებულ გარეგანი ქმედების პროცედურების ჰეტეროგენულ სახეობებად.¹⁶

გარდამავალი საფეხური არაენოვანი აგენტიდან ენოვანი აგენტამდე შეიძლება ვიზუალიზებულ იქნეს კონტექსტის დუბლირების ფორმით, სადაც ხდება ახლად შემოტანილი კომპონენტის თავიდან გამოყენება ენობრივი მიზნებისთვის.¹⁷ მაგალითად, არსებული ინტერფეისი (i) კონტექსტის ამოცნობისთვის და (ii) კონტექსტური ქმედებისთვის შეიძლება თავიდან იქნეს გამოყენებული ახალი ენობრივი კომპონენტის მიერ, შესაბამისად, (iii) ნიშნის ამოსაცნობად და (iv) ნიშნის სინთეზირებისთვის.

2.1.3 ენოვანი ცნობიერი აგენტის გარეგანი ინტერფეისი



ერთი მხრივ, ენის (ზედა დონე) და, მეორე მხრივ, კონტექსტის (ქვედა დონე) გარეგანი ინტერფეისების ერთმანეთისგან გარჩევა შეიძლება მოტივირებულ იქნეს სხვაობით მათ ინტერპრეტაციებს შორის. მაგალითად, როცა ვხედავთ რალაც გაურკვეველ გამოსახულებას ხის ქერქზე, შესაძლოა ეჭვი გავგიჩნდეს, ეს

16 ჩვენ ვიცნობთ ორი ტიპის ჰომოგენურ კოდირებას: ნევროლოგიურს – ბუნებრივ აგენტებში, და ელექტრონულს – კომპიუტერებში. ფუნქციური თვალსაზრისით, ცენტრალური ცნობიერების ამოცანა არის მოდალობისგან დამოუკიდებელი (ჰომოგენური) შინაარსის ანალიზი და შენახვა, არსებული შინაარსიდან დასკვნების გამოტანა და ამ დასკვნების გარდაქმნა აქსიომათა სქემებად.

17 ეს ეთანხმება ევოლუციაზე ემერგენტისტულ თვალსაზრისს, რომლის მიხედვითაც ხდება ძველი ფორმების ხელახალი გამოყენება ახალი ფუნქციებისთვის.

COMPUTATION

შემთხვევითი ბუნებრივი მოვლენაა თუ ვიღაც სხვა ადამიანის მიერ გამიზნულად ამოკანრული ასოების რიგი; მაგალითად, **ფრთხილად, ვეფხვი!** როცა უეცრად ვხვდებით, რომ ეს გამოსახულება კომუნიკაციისთვის გამიზნული ნიშანია, ვიზუალური მონაცემები იგივე რჩება, მაგრამ მისი ინტერპრეტაციის წესი სრულიად სხვაა: ჩვენ კონტექსტური დონიდან გადავერთვებით ენობრივ დონეზე.¹⁸

2.2 მოდალობები და საშუალებები

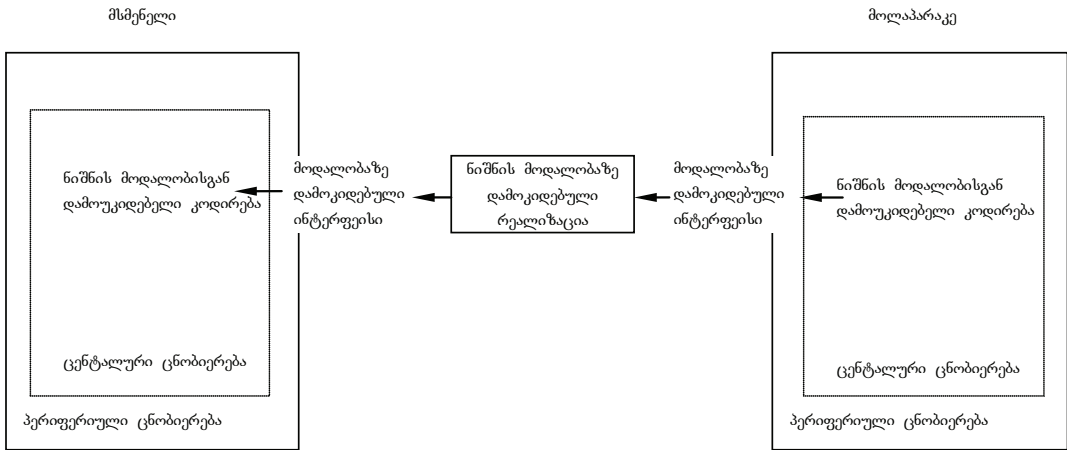
ბუნებრივ ენაზე წარმოებული კომუნიკაციისთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს განსხვავებული მექანიზმები შემავალი და გამომავალი მონაცემებისთვის. ნიშნის ამოცნობა შესაძლოა ემყარებოდეს ყურის (ხმოვანი ენა), თვალის (წერილობითი, ნიშნების ენა) და კანის (ბრაილი) ინტერფეისს შემავალი მონაცემებისთვის. ნიშნის წარმოება შეიძლება ეფუძნებოდეს ვოკალური ტრაქტის და პირის (ხმოვანი ენა), ხელის (წერილობითი ენა, ბრაილის ჩათვლით), ხელი-მკლავი-სახის ჟესტების (ჟესტების ენა) ინტერფეისს გამომავალი მონაცემებისთვის.

2. ინტერფეისები და კომპონენტები

სხვადასხვა ინტერფეისს შემავალი და გამომავალი მონაცემებისთვის მოდალობები ეწოდება როგორც ენობრივ, ისე კონტექსტურ დონეზე. პერიფერიული ცნობიერების ამოცანაა სხვადასხვა ინტერფეისის მოდალობაზე დამოკიდებული მონაცემები გარდაქმნას ცენტრალური ცნობიერების ჰომოგენურ კოდად. შემდეგი მაგალითი გვიჩვენებს მოდალობისგან დამოუკიდებელი და მოდალობაზე დამოკიდებული კოდირების მონაცვლეობას მოლაპარაკისგან მსმენელისთვის ენობრივი ნიშნის გადაცემის დროს:

2.2.1 მოდალობისგან დამოუკიდებელი და მოდალობაზე დამოკიდებული კოდირება

18 წერილობითი ენის ფუნქციონირების შესახებ იხ. Hausser, R. (1999/2001) *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language*, 2nd ed., pp. 578, Berlin Heidelberg New York: Springer.



მოლაპარაკის პერიფერიული ცნობიერება ნიშანს მოდლობისგან დამოუკიდებელი (ჰომოგენური) კოდირებიდან გარდაქმნის მოდლობაზე დამოკიდებულ კოდირებად. მსმენელის პერიფერიული ცნობიერება, პირიქით, ნიშნის მოდლობაზე დამოკიდებულ კოდირებას გარდაქმნის მოდლობისგან დამოუკიდებელ კოდირებად.¹⁹

ქმედების მოდალობები განსხვავდება ამოცნობის მოდალობებისგან. მაგალითად, ხმოვანი ენა იწარმოება პირის საშუალებით, მაგრამ ამოცნობა ყურით. ანალოგიურად, წერილობითი და ჟესტების ენა იწარმოება ხელებით და ამოცნობა თვალებით. ამის გარდა, არსებობს მონომოდალური და მულტიმოდალური ამოცნობა და ქმედება. მულტიმოდალური კონტექსტური ამოცნობის მაგალითია სხვა აგენტის ერთდროულად ყურება, შეხება, ყნოსვა და მოსმენა. მულტიმოდალური კონტექსტური ქმედების მაგალითია ხილის ხელში დაჭერა და ჩაკბენა. ამოცნობა და ქმედება ისევე შეიძლება შეუთავსდნენ ერთმანეთს, როგორც ესაა ობიექტის დანახვის (ამოცნობა) და ალების (ქმედება) შემთხვევაში.

¹⁹ მაგალითად, დავუშვათ, რომ ცენტრალურ ცნობიერებაში ენა კოდირებულია ASCII-ის საშუალებით. ენის ნიშნები შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს აკუსტიკურად მეტყველების სახით, ან ვიზუალურად ხელნაწერი, ნაბეჭდი ან ჟესტების ენის სახით. ნიშნების წარმოებისას (მოლაპარაკის რეჟიმი) აგენტმა უნდა შეარჩიოს სიტყვის რეალიზაციის მოდალობა; ამგვარად, სიტყვის ერთი ASCII კოდირება პერიფერიული ცნობიერების მიერ გარდაიქმნება, ფაქტიურად, უსასრულო რაოდენობის სხვადასხვა მოდლობაზე დამოკიდებული რეალიზაციებიდან ერთ-ერთზე, რომელიც დაფუძნებულია ვიზუალურ, აკუსტიკურ ან შეგრძნებით რეპრეზენტაციებს. ნიშნის ამოცნობისას (მსმენელის რეჟიმი) სიტყვის მრავალ შესაძლო მოდლობაზე დამოკიდებული რეპრეზენტაცია, როგორებიცაა ბიტმეფის სქემა, ბგერათა ტალღები ან ამობურცული წერტილები (ბრაილი), პერიფერიული ცნობიერების მიერ გარდაიქმნება ისევე იმ ერთ ASCII კოდად.

COMPUTATION

სხვადასხვა მოდალობაზე უფრო მრავალფეროვანია არსებობის ფორმები გარე სამყაროში, მაგალითად, სხვადასხვა მასალა, ფიზიკური მდგომარეობები, მოძრაობები, ბუნების კანონები, სოციალური ნორმები და ა.შ., რომლებიც შეიძლება ამოიცნონ, დაამუშაონ და მათზე იმოქმედონ. მაგრამ პერიფერიული ცნობიერების მიერ მათი გარდაქმნის შედეგად არსებობის ეს სხვადასხვა ფორმა ცნობიერ აგენტში წარმოდგენილია ჰომოგენური კოდირების ფორმით – თუკი ის საერთოდ იქნა აღქმული.

ნებისმიერ მოდალობაში უნდა გავარჩიოთ უშუალო ამოცნობა და ქმედება და გაშუალებული ამოცნობა და ქმედება. ეს უკანასკნელი უკავშირდება მედიუმის ან მედიის ფართოდ გავრცელებულ ცნებებს, მაგალითად, ბეჭდურ პროდუქციას ან ტელევიზიას. ზოგადად, განსხვავებული საშუალებები წარმოადგენენ განსხვავებულ სუბსტანციებს შინაარსის შენახვისა და რეაქტივაციისთვის. მაგალითად, ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ ან გავიგონოთ ჩვენკენ მოძრავი მატარებელი უშუალოდ რეალობაში ან დავინახოთ და გავიგონოთ გაშუალებული გამოსახულება კინოში, სადაც ეს მოვლენა შენახული და რეაქტივირებული იყო ფირის საშუალებით. ორივე შემთხვევაში ეს ამოცნობა მულტიმოდალურია.

მაშინ, როცა მოდალობის ცნება უკავშირდება ცნობიერი აგენტისთვის დამახასიათებელ მონაცემთა მიღება/გაცემის მექანიზმს, მედიუმის არჩევა უკავშირდება აგენტის გარე-შენახვის საშუალებებს (შდრ. Meyer-Wegener, K., *Multimediale Datenbanken: Einsatz von Datenbanktechnik in Multimedia-Systemen. 2nd ed.*, Wiesbaden: Teubner 2003). მაგრამ მედიუმის და მოდალობის ცნებები ურთიერთდაკავშირებულია, რადგან ყოველი მედიუმი, მაგ., ბეჭდური პროდუქცია, გამიზნულია გარკვეული მოდალობისთვის (მაგ., ხედვისთვის) ან მოდალობებისთვის.

2.3 ენის საშუალებით რეფერენციის ალტერნატიული ონტოლოგიები

ენობრივი გამონათქვამების დაკავშირებას სამყაროს გარკვეულ ობიექტებთან ან მოვლენებთან რეფერენცია ეწოდება. მონაცემთა ბაზის სემანტიკის აგენტზე ორიენტირებული მიდგომა რეფერენციას წარმოადგენს როგორც აგენტის თავში მიმდინარე კოგნიტიურ პროცედურას. ენობრივ და კონტექსტურ დონეზე გარეგანი ინტერფეისის გარდა, ეს მოითხოვს (i) მონაცემთა სტრუქტურას აგენტში არსებული შინაარსის გადმოსაცემად და (ii)

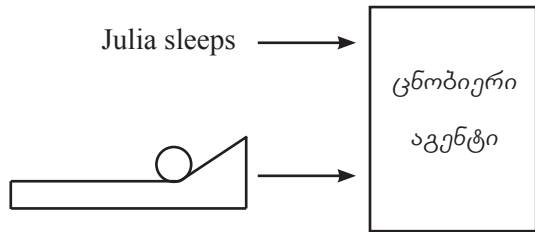
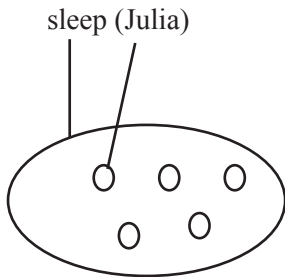
ალგორითმს აგენტის მონაცემთა ბაზაში შინაარსის წასაკითხად და ბაზიდან მის გამოსატანად.

ჭეშმარიტულ-პირობითი სემანტიკის ნიშანზე ორიენტირებული მიდგომა კი, ამის საპირისპიროდ, რეფერენციას განიხილავს როგორც გარეგან მიმართებას „ენასა და სამყაროს“ შორის, სადაც ეს უკანასკნელი განსაზღვრულია როგორც სიმრავლურ-თეორიული მოდელი. რეფერენციული მიმართებები დგინდება მეტაენით მოცემული განსაზღვრებების საშუალებით. მეტაენა, განსაზღვრებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ენის მოდელთან მიმართებას, და თავად მოდელი მუშავდება ლოგიკოსების მიერ.

სხვადასხვაგვარი ონტოლოგიები, რომლებიც საფუძვლად უდევს ნიშანზე ორიენტირებულ ჭეშმარიტულ-პირობით სემანტიკას და მონაცემთა ბაზის სემანტიკის აგენტზე ორიენტირებულ მიდგომას, სქემატურად ასე შეიძლება გამოისახოს:

ჭეშმარიტულ-პირობითი სემანტიკა

მონაცემთა ბაზის სემანტიკა



სიმრავლურ-თეორიული მოდელი გარე რეალობა

სიმრავლურ-თეორიულ სემანტიკაში წინადადება ენობრივ დონეზე ფორმალიზებულია როგორც sleep(Julia), სადაც sleep არის სიმრავლის აღმნიშვნელი ფუნქტორი, ხოლო Julia – ელემენტის აღმნიშვნელი არგუმენტი. მეტაენაში განსაზღვრული ურთიერთკავშირი ენობრივ გამონათქვამებსა და მათ სიმრავლურ-თეორიულ აღნიშვნებს შორის გამოსახულია ნყვეტილი ხაზებით. ეს არის ნიშანზე ორიენტირებული მიდგომა, რამდენადაც აქ არ არის აგენტი და, შესაბამისად, არც გარეგანი ინტერფეისი. აქედან გამომდინარე, აქ იმის არც ადგილი და არც საჭიროება არ არის, რომ წარმოდგენილ იქნეს აგენტის შინაგანი მონაცემთა ბაზა ან აგენტის მონაცემთა ბაზის წამკითხველი ალგორითმი. გარდა ამისა, მოლაპარაკის და მსმენელის რეჟიმებიც არ განირჩევა ერთმანეთისგან.

მონაცემთა ბაზის სემანტიკაში მაგალითი გვიჩვენებს აგენტს მსმენელის

COMPUTATION

რეჟიმში.²⁰ წინადადებას *Julia sleeps* აგენტი აკავშირებს რეფერენტთან, რომელიც განისაზღვრება კონტექსტუალური ამოცნობის შედეგად. აგენტი, ენობრივი გამონათქვამი და რეფერენტი (მისი თვისებითურთ ‘იყოს მძინარე’), ყველა არის რეალური სამყაროს ნაწილი. რეალურ სამყაროს აქ განიხილავენ როგორც მოცემულობას და არც ცდილობენ მის მოდელირებას სიმრავლურ-თეორიულად ან რაიმე სხვა გზით. ამის ნაცვლად, *მონაცემთა ბაზის სემანტიკის* მიზანი აგენტის მოდელირებაა. ეს მოიცავს აგენტის მიერ რეალური სამყაროს ამოცნობას ენობრივსა და კონტექსტურ დონეებზე და, ასევე, აგენტის ქმედებებს – გარეგანს, რეალური სამყაროს მიმართ, და შინაგანს, ისეთი პროცედურების გათვალისწინებით, როგორებიცაა თავისუფალი ასოციაცია, განსჯა, გეგმების, სურვილების ჩამოყალიბება და სხვა.

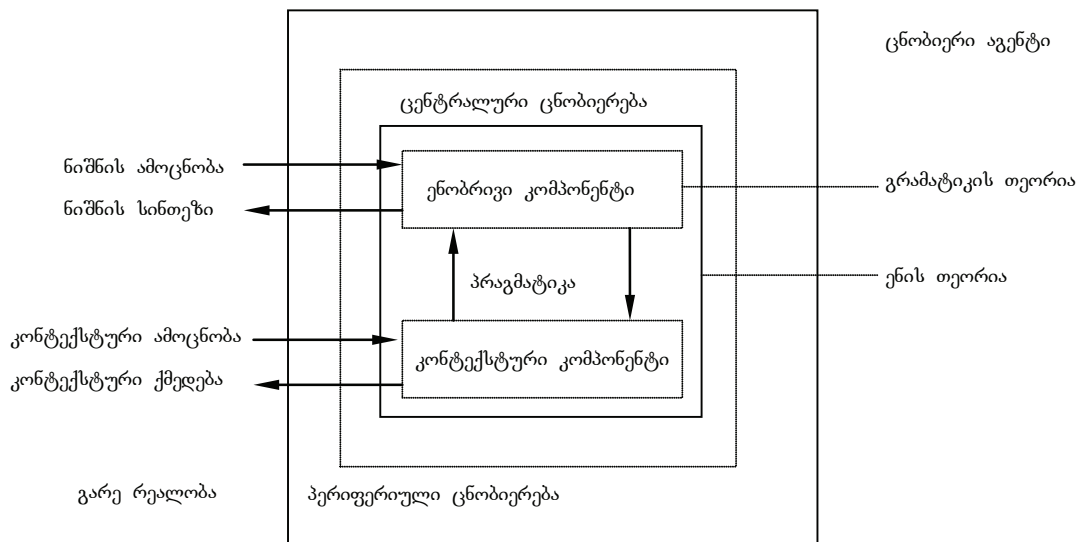
2.4 ენის თეორია და გრამატიკის თეორია

მონაცემთა ბაზის სემანტიკა განსაზღვრავს მიმართებებს ენობრივ გამონათქვამებსა და რეფერენტებს შორის უფრო პროცედურულად, ვიდრე მეტაენობრივად.²¹ როგორც პირველი ნაბიჯი რეფერენციის პროცედურული რეკონსტრუქციის გზაზე, ვცადოთ ცნობიერი აგენტის თავში „შევიტანოთ“ განსხვავებები ენობრივსა და სამყაროს დონეებს შორის, რაც უკვე ცნობილია ჭეშმარიტულ-პირობითი სემანტიკიდან. ამგვარად, „სამყარო“ გარდაიქმნება აგენტის ეპიზოდური და აბსოლუტური ცოდნის შინაგან რეპრეზენტაციად, რასაც *კონტექსტი* ეწოდება.

20 ენობრივ და კონტექსტურ დონეებზე ამოცნობისა და ქმედების სხვადასხვაგვარი კონსტელაციები კატეგორიზებულია ცნობიერების 10 SLIM მდგომარეობად (მდრ. Hausser, R. (1999/2001) *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language, 2nd ed.*, pp. 578, Berlin Heidelberg New York: Springer, ქვეთავი 23.5.

21 იმისთვის, რომ შესაძლებელი იყოს მეტაენობრივი განსაზღვრებების კომპიუტერული გამოყენება, უნდა მოხდეს მათი პროცედურული რეკონსტრუქცია. მეტაენაზე დაფუძნებული არსებული სისტემების უმრავლესობა, მაგალითად, მოდალური ლოგიკა, გამოუსადეგარია პროცედურული რეკონსტრუქციისათვის. იხ. Hausser, R. (1999/2001) *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language, 2nd ed.*, pp. 578, Berlin Heidelberg New York: Springer, ქვეთავი 19.4.

2.4.1 ცენტრალური ცნობიერების სტრუქტურირება მოლაპარაკე აგენტში



სქემა 2.1.3-თან შედარებით ცენტრალური ცნობიერების სტრუქტურა აქ უფრო დიფერენცირებულია: არსებობს განსხვავება ენობრივ და კონტექსტურ კომპონენტებს შორის და მათ ურთიერთკავშირს ენობრივი პრაგმატიკა უზრუნველყოფს.²²

ზოგადად, პრაგმატიკა განისაზღვრება როგორც გამოყენების თეორია. პრაგმატიკის ამოცანათა მაგალითია სახრახნისის გამოყენება ხრახნის ჩასახრახნად, ფეხების გამოყენება a პუნქტიდან b პუნქტში მისასვლელად, მაცივრის გვიან ღამით მოჩხრეკა იქ სენდვიჩის აღმოსაჩენად და შიმშილის დასაკმაყოფილებლად ან ვინმე სხვისთვის თხოვნა, მოიძიოს და მოგვიტანოს სენდვიჩი.

იმისდა მიხედვით, ქმედება ენობრივი ნიშნების გამოყენებით ხორციელდება თუ არა, ლაპარაკი შეიძლება იყოს ენობრივ ან კონტექსტურ პრაგმატიკაზე. ენობრივი პრაგმატიკა უნდა გაანალიზდეს როგორც კონტექსტური პრაგმატიკის ფილოგენეზური და ონტოგენეზური სპეციფიკაცია; მსგავსადვე, ენის ამოცნობა და სინთეზი ანალიზდება როგორც კონტექსტური ამოცნობისა და ქმედების ფილოგენეზური და ონტონეგეზური სპეციფიკაცია.

ლინგვისტიკაში დიდი ხნის მანძილზე უგულვებელყოფილი იყო კონტექსტური

²² ამგვარად, მონაცემთა ბაზის სემანტიკაში პრაგმატიკის ერთ-ერთი ფუნქცია არის მეტაენის როლის შესრულება ჭეშმარიტულ-პირობით სემანტიკაში, კერძოდ, კავშირის დამყარება „ენასა და სამყაროს“ შორის, ამ შემთხვევაში კი აგენტის შინაგან დონეებზე არსებულ ენასა და კონტექსტს შორის.

COMPUTATION

კომპონენტი – მისი განსაკუთრებული როლის მიუხედავად ბუნებრივენოვანი კომუნიკაციის პროცესში. კონტექსტური კომპონენტის გარეშე ხელოვნული ცნობიერი აგენტი ვერ შეგვატყობინებს, თუ რას აღიქვამს (კონტექსტური ამოცნობა) და ვერ გააკეთებს იმას, რასაც ვუბრძანებთ (კონტექსტური ქმედება).

ენობრივი კომპონენტი ტრადიციულად გრამატიკული თეორიის მიერ აღინერება და მოიცავს მორფოლოგიას, ლექსიკონს, სინტაქსსა და სემანტიკას. მონაცემთა ბაზის სემანტიკის მიზნებიდან გამომდინარე, ენობრივი კომპონენტი უნდა არა მხოლოდ აანალიზებდეს ნიშნებს, როგორც იზოლირებულ ობიექტებს, არამედ გვანვდიდეს იმ გამოთვლითი პროცედურების დეკლარაციულ სპეციფიკაციას, რომლებიც მნიშვნელობას გარდასახავენ ზედაპირულ დონედ (მოლაპარაკის რეჟიმი) და ზედაპირულ დონეს – მნიშვნელობებად (მსმენელის რეჟიმი).

ენობრივი კომპონენტი, კონტექსტური კომპონენტი და ენობრივი პრაგმატიკა ერთობლივად ქმნიან ენის თეორიას. მონაცემთა ბაზის სემანტიკის მიზნების გათვალისწინებით, ენის თეორიამ უნდა უზრუნველყოს გარე სამყაროსთან ენის მიმართების მოდელირება როგორც მოლაპარაკის, ისე მსმენელის რეჟიმში. უფრო მეტიც, მან უნდა შემოგვთავაზოს კონცეპტუალიზაციის ბუნებრივი მეთოდი – ანუ, მოლაპარაკის არჩევანი თუ რა თქვას და როგორ თქვას – ისევე, როგორც მოლაპარაკისა და მსმენელის რეჟიმში ენის არაპირდაპირი მნიშვნელობით გამოყენების ანალიზის მეთოდიც.

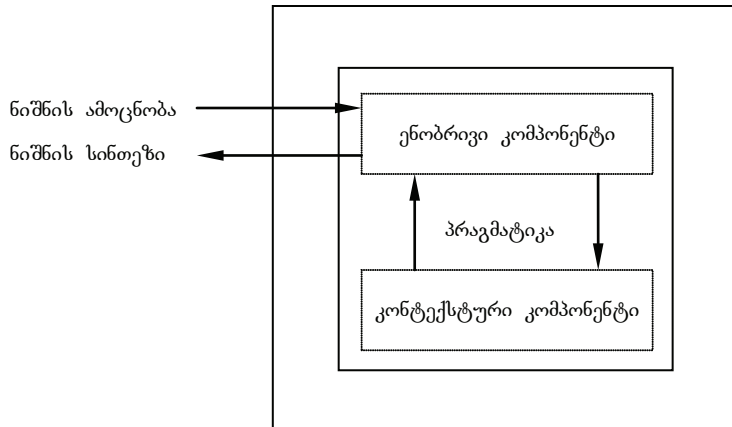
2.5 უშუალო მიმართება და გაშუალებული მიმართება

ონტოგენეტური და ფოლოგენეტური თვალსაზრისით მიმართების ყველაზე ბაზისური ფორმა არის უშუალო მიმართება. ეს გულისხმობს ენის მეშვეობით იმ ობიექტების მოხსენიებას, რომლებიც კომუნიკაციაში მონაწილე აგენტების უშუალო გარემოში არიან, მაგალითად, წიგნის, რომელიც მათ წინ დევს. ამდენად, აგენტების გარეგანი ინტერფეისი ჩართულია როგორც ენობრივ, ისე კონტექსტურ დონეზე (როგორც 2.4.1-ში).

ამის გარდა, ენის მეშვეობით ხდება იმ რეფერენტებთან მიმართებაც, რომლებიც არა უშუალო გარემოცვაში, არამედ მხოლოდ კომუნიკაციაში მონაწილე აგენტების მონაცემთა ბაზაში არიან, მაგალითად, არისტოტელეს ისტორიული ფიგურა. ამ გაშუალებულ მიმართებაში ერთგვარადაც მხოლოდ

ენობრივი, მაგრამ არა კონტექსტის დონის გარეგანი ინტერფეისი:²³

2.5.1 გარეგანი ინტერფეისის გამოყენება გაშუალებულ რეფერენციაში



მართალია, უშუალო მიმართება ფილოგენეტიური და ონტოგენეტიური თვალსაზრისით პირველადია, მაგრამ თეორიული თვალსაზრისით ის გაშუალებული მიმართების კერძო შემთხვევაა. ეს ასე იმიტომაცა, რომ უშუალო მიმართებისას ასევე გამოიყენება გაშუალებული მიმართების კოგნიტიური პროცედურები. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, უშუალო და გაშუალებულ მიმართებებს შორის განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ უშუალო მიმართება დამატებით მოითხოვს კონტექსტური დონის გარეგან ინტერფეისს.

ცნობიერი აგენტები, რომლებსაც არ გააჩნიათ კონტექსტური ინტერფეისი, მაგრამ აქვთ ენა (და, ამდენად, შემოიფარგლებიან მხოლოდ გაშუალებული მიმართებით), ინტერესს შემდეგი მოსაზრებების გამო იწვევენ. ჯერ ერთი, თანამედროვე რობოტების კონტექსტური ამოცნობის და ქმედების უნარი ჯერ კიდევ ბევრად ჩამოუვარდება, მაგალითად, ციყვისას. ენობრივ დონეზე ამოცნობა და ქმედება კი, ამისგან განსხვავებით, პრინციპული ფუნქციური დანაკარგების გარეშეც ყოველთვის შესაძლებელია განხორციელდეს თანამედროვე კომპიუტერების კლავიატურისა და ეკრანის საშუალებით. ამგვარად, თუ გვინდა დღევანდელი ტექნოლოგიების გამოყენებით, ე.ი. შესაფერისი რობოტების გარეშე, ბუნებრივ ენაზე წარმოებული კომუნიკაციის

23 უშუალო და გაშუალებული რეფერენციის შემდგომი განხილვა იხ. Hausser, R. (1999/2001) *Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language, 2nd ed.*, pp. 578, Berlin Heidelberg New York: Springer, ქვეთავი 4.3.

COMPUTATION

მოდელირება, უნდა დაგვიყვარდეთ ცნობიერი აგენტებით, რომლებსაც არ გააჩნიათ კონტექსტური ინტერფეისი და, ამდენად, მოკლებულნი არიან უშუალო რეფერენციის უნარს.

მეორეც, არსებობს მრავალი ისეთი ამოცანა, რომელთა გადასაჭრელად საკმარისია აგენტები, რომლებსაც არ გააჩნიათ კონტექსტური ინტერფეისი, მაგრამ აქვთ ენობრივი უნარი. თეორიული კვლევის სფეროში ეს ეხება იმ კოგნიტიური ოპერაციების მოდელირებას, რომლებიც მხოლოდ შენახულ მონაცემებს ეფუძნება; პრაქტიკულ სფეროში კი ეს მოიცავს ისეთ ამოცანებს, როგორცაა მონაცემთა ბაზებთან და ინტერნეტთან ურთიერთქმედება ბუნებრივ ენაზე – ახალი შინაარსის წაკითხვისა და მოთხოვნებზე პასუხის გაცემის ჩათვლით.

მაგრამ გრძელვადიან პერსპექტივაში კონტექსტური დონის გარეგანი ინტერფეისის (და შესაბამისი ამოცნობისა და ქმედების უნარის) არარსებობა შემდეგ შეზღუდვებთან არის დაკავშირებული:

2.5.2 კონტექსტური ინტერფეისის არქონით გამოწვეული შეზღუდვები

1. განუსაზღვრელი რჩება ენობრივ მნიშვნელობათა კონცეპტუალური ბირთვი.

აგენტში ყველაზე ბაზისური კონცეპტები ჩნდება მისი კონტექსტური ინტერფეისის ამოცნობისა და ქმედების პროცედურების ფორმით. შემდგომ ენის მფლობელ აგენტში ხდება მათი, როგორც ენობრივი მნიშვნელობების ბირთვის, ხელახალი გამოყენება.²⁴ ამდენად, აგენტები, რომლებიც ფლობენ ენას, მაგრამ არ აქვთ კონტექსტური ინტერფეისი, იყენებენ მნიშვნელობებს კონცეპტუალური ბირთვის გარეშე – თუმცა ურთიერთმიმართებები კონცეპტებს შორის, რომლებიც ადგილიანობის (ვალენტობის) მქონე სიტყვებით არის წარმოდგენილი, მაინც შეიძლება იყოს განსაზღვრული როგორც აბსოლუტურად (მაგალითად, *is-ა* ან *is-part-of* იერარქიებში), ისე სპორადულად.

2. შინაარსის კოჰერენტულობის ან არაკოჰერენტულობის საკითხი ვერ გადაწყდება ავტონომიურად.

ბაზაში შენახული შინაარსის კოჰერენტულობის წყარო არის გარესამყაროს კოჰერენტულობა.²⁵ ამდენად, მხოლოდ კონტექსტური ინტერფეისის მქონე

24 შდრ. Hausser, R. (1999/2001) Foundations of Computational Linguistics, Human-Computer Communication in Natural Language, 2nd ed., pp. 578, Berlin Heidelberg New York: Springer, ქვეთავი 22.1

25 Ibid, ქვეთავი 24.1.

აგენტებს შეუძლიათ ენის საშუალებით „შემოტანილი“ შინაარსი დაუკავშირონ თავისი გამოცდილების მონაცემებს. აგენტს, რომელსაც არ აქვს კონტექსტური ინტერფეისი, არაფერიარ გააჩნია შემოსული მონაცემების გარდა – ამიტომაც მათ კოჰერენტულობაზე პასუხისმგებელი მხოლოდ და მხოლოდ ის მომხმარებელია, რომელსაც შეაქვს ეს მონაცემები აგენტში.

შესაფერისი რობოტების არარსებობის გამო *მონაცემთა ბაზის სემანტიკის* პროგრამული უზრუნველყოფა განპირობებულია სტანდარტული კომპიუტერების შესაძლებლობებით. მაგრამ როგორც კი ხელმისაწვდომი გახდება კონტექსტური ინტერფეისისთვის საჭირო ტექნოლოგიები, გაფართოვდება *მონაცემთა ბაზის სემანტიკის* თეორიული ჩარჩოც. ამის საფუძველი ისაა, რომ, უხეშად რომ ვთქვათ, უშუალო რეფერენცია არის გაშუალებული რეფერენციის კერძო შემთხვევა.

ამგვარად, კონტექსტური ინტერფეისის გარეშე მომზადებული ვერსიის ყველა კომპონენტი გამოდგება გაფართოებული სისტემისთვისაც. ეს ეხება, მაგალითად, ლექსიკონის კომპონენტებს, სიტყვა-ფორმების ავტომატურ ამოცნობასა და წარმოებას, სინტაქსურ-სემანტიკურ და სემანტიკურ-სინტაქსურ ანალიზატორებს და მოლაპარაკისა და მსმენელის რეჟიმებში პრაგმატიკის იმპლიკაციებს.

2.6 ენის თეორია SLIM

ენის თეორიას, რომელსაც *მონაცემთა ბაზის სემანტიკა* ეფუძნება, ეწოდება SLIM. ენის სხვა ისეთი თეორიებისგან განსხვავებით, როგორებიცაა სტრუქტურალიზმი, ბიჰეივიორიზმი, ნატივიზმი, მოდელთა თეორია ან მეტყველების აქტების თეორია, SLIM-ი იმთავითვე იმისთვის შეიქმნა, რომ აბსოლუტურად ექსპლიციტური, მექანიკური (ე.ი. ელექტრონულ-ლოგიკური) პროცედურების საშუალებით სრულიად აეხსნა ნიშანთა გაგებისა და მიზანმიმართული წარმოების პროცესი.

აკრონიმი SLIM ასე იხსნება:

S = Surface Compositionality ‘ზედაპირული კომპოზიციურობა’ (მეთოდოლოგიური პრინციპი, შდრ. 1.6.1):

სინტაქსურ-სემანტიკური კომპოზიცია აკავშირებს მხოლოდ კონკრეტულ სიტყვა-ფორმებს და გამორიცხავს ნულოვანი ელემენტების, იგივეობრივი გარდასახვის ან ტრანსფორმაციების გამოყენებას.

COMPUTATION

L = time-Linearity 'დროითი წრფივობა' (ემპირიული პრინციპი, შდრ. 1.6.5):

გამონათქვამთა ინტერპრეტაცია და წარმოება ეფუძნება მკაცრად დროით-წრფივ დერივაციულ თანმიმდევრობას.

I = Internal 'შინაგანი' (ონტოლოგიური პრინციპი, შდრ. 2.3.1):

გამონათქვამთა ინტერპრეტაცია და წარმოება ანალიზდება როგორც მოლაპარაკე-მსმენელში, მათ „შიგნით“, არსებული კოგნიტიური პროცედურები.

M = Matching 'ერთმანეთთან დაკავშირება' (ფუნქციონალური პრინციპი, შდრ. 3.2.3):

ენის საშუალებით წარსულის, აწმყოს ან მომავლის ობიექტებზე და მოვლენებზე რეფერენცია მოდელირებულია ენობრივი მნიშვნელობებისა და კონტექსტის სქემების ერთმანეთთან დაკავშირების გზით.

SLIM-ი კომუნიკაციის მოდელირებას ახდენს *პრაგმატიკის შვიდი პრინციპის* საფუძველზე.

2.6.1 პრაგმატიკის პირველი პრინციპი (POP-1)

მთქმელის მიერ ნაგულისხმევი გამონათქვამის მნიშვნელობა (მნიშვნელობა₂) არის ნიშნის პირდაპირი მნიშვნელობის (მნიშვნელობა₁) გამოყენება შინაგანი კონტექსტის მიმართ.

მნიშვნელობა₁ არის ნიშნის *პირდაპირი მნიშვნელობა*; მნიშვნელობა₂ არის *მთქმელის მიერ ნაგულისხმევი გამონათქვამის მნიშვნელობა*, რომელშიც გამოყენებულია ნიშნის მნიშვნელობა₁. მსმენელის რეჟიმშიც კი, მნიშვნელობა₂-ს ვუწოდებთ „მთქმელის მნიშვნელობას“, რადგან კომუნიკაცია წარმატებულად შეიძლება ჩაითვალოს მხოლოდ მაშინ, როცა მსმენელი იყენებს ნიშნის მნიშვნელობა₁-ს იმავე ობიექტის ან მოვლენის აღსანიშნად, რასაც მთქმელი გულისხმობდა.

ნიშანი წარმატებით მხოლოდ მაშინ გამოიყენება, როცა ინტერპრეტაციის კონტექსტი სწორად არის განსაზღვრული (და შემოფარგლული). კონტექსტის დადგენა ეფუძნება ნიშნის STAR-ს:

S = space 'სივრცე' (ადგილი, სადაც ნიშანი წარმოითქვა)

T = time 'დრო' (დრო, როცა ნიშანი წარმოითქვა)

A = author 'ავტორი' (ავენტი, რომელმაც წარმოითქვა ნიშანი)

R = recipient 'რეციპიენტი' (ავენტი, ვისთვისაც წარმოითქვა ნიშანი)

STAR-ის როლი აღინერება *პრაგმატიკის მეორე პრინციპით*:

2.6.2 პრაგმატიკის მეორე პრინციპი (POP-2)

ნიშნის STAR-ი განსაზღვრავს მისი წარმოებისა და ინტერპრეტაციის

შემავალ კონტექსტს მთქმელისა და მსმენელის კონტექსტურ მონაცემთა ბაზაში.

როგორც კი STAR-ზე დაყრდნობით დადგინდება ინტერპრეტაციის საწყისი კონტექსტი, სხვა კონტექსტები შეიძლება განისაზღვროს პრაგმატიკის მესამე პრინციპის მიხედვით:

2.6.3 პრაგმატიკის მესამე პრინციპი (POP-3)

ნიშნების დაკავშირება შესაბამის ქვეკონტექსტებთან ინკრემენტულია – ელემენტარული ნიშნები ინარმოება საფუძვლად არსებული აზრობრივი ნაკადის დროით-წრფივი თანმიმდევრობით, ხოლო ინტერპრეტაციისას აზრობრივი ნაკადი მიჰყვება შემომავალი ელემენტარული ნიშნების დროით-წრფივ თანმიმდევრობას.

ბუნებრივ ენაზე ნარმოებული კომუნიკაციის შემთხვევაში POP-3 გულისხმობს POP-2-ს. ბუნებრივი ენის ნიშნის წარმოებისა თუ ინტერპრეტაციის პირველი ნაბიჯი არის შესასვლელი კონტექსტის რაც შეიძლება ზუსტი განსაზღვრა (POP). შემდეგ შედგენილი ნიშანი სიტყვა-სიტყვით უკავშირდება კონტექსტის დონის რეფერენტთა თანმიმდევრობას (POP-3).²⁶

შემდეგ განისაზღვრება მნიშვნელობა, და სამი ბაზისური ტიპის ნიშნის, კერძოდ, სიმბოლოს, ინდექსის და სახელის შესაბამისი რეფერენციის მექანიზმები. სიმბოლოს პირდაპირი მნიშვნელობა, არის კონცეპტური ტიპის.

2.6.4 პრაგმატიკის მეოთხე პრინციპი (POP-4)

სიმბოლოს რეფერენციის მექანიზმი ეფუძნება მნიშვნელობა, -ს, რომელიც განისაზღვრება როგორც კონცეპტური ტიპი. სიმბოლო, რომელიც მოცემული წინადადებაში განსაზღვრულ ადგილს იკავებს, რეფერენციას ახორციელებს

26 დერივაციის დროით-წრფივი თანმიმდევრობა მსმენელისა და მოლაპარაკის რეჟიმებში ცალსახად დასტურდება კოგნიტიური ფსიქოლოგიის ექსპერიმენტული შედეგებით, განსაკუთრებით ხმოვანი ენის ინტერპრეტაციის შემთხვევაში. მაგალითად, იხ. სედივი, ტანენჰაუსი და სხვ. (Sedivy, J.C., M.K. Tanenhaus, C.G. Chambers, and G.N. Carlson (1999) "Achieving incremental semantic interpretation through contextual representation," *Cognition* 71:109–147) გვთავაზობენ „ანალიზის მოდელს, სადაც ენობრივი გამონათქვამების სემანტიკური ინტერპრეტაცია ხდება უწყვეტად და თანმიმდევრულად, რეფერენციულ მოდელზე უშუალო გარდასახვით.“ ასევე, ებერჰარდი და სხვები (Eberhard, K.M., M.J. Spivey-Knowlton, J.C. Sedivy, and M.K. Tanenhaus (1995) "Eye movements as a window into real-time spoken language comprehension in natural contexts," *Journal of Psycholinguistic Research* 24.6:409–437) აღნიშნავენ, რომ სუბიექტები „მოსმენილი მონაცემების ყოველი სიტყვის ინტერპრეტაციას ვიზუალური დისკურსის მოდელის მიმართ ახდენენ ინკრემენტულად და რეფერენციას ადგენენ დიფერენციალური ინფორმაციის მიღებისთანავე.“ ანალოგიურ მოსაზრებებს ვხვდებით ასევე Spivey, M.J., M.K. Tanenhaus, K.M. Eberhard, and J.C. Sedivy (2002) "Eye movements and spoken language comprehension: effects of visual context on syntactic ambiguity resolution," *Cognitive Psychology* 45: 447–48.

COMPUTATION

კონტექსტურ დონეზე თავისი მნიშვნელობა_i-ის დაკავშირებით შესაბამის კონცეპტთან.

სიმბოლოების რეფერენციის მექანიზმს ეწოდება პიქტოგრამული, რადგან სიმბოლოს და პიქტოგრამის ფუნქციონირება მსგავსია: ორივე შეიძლება სპონტანურად იქნეს გამოყენებული ცნობილი ტიპის ახალი ობიექტების აღსანიშნად. განსხვავება არის მნიშვნელობა_i-ის და „ზედაპირის“ ურთიერთმიმართებაში, რომელიც ნებისმიერია სიმბოლოს შემთხვევაში და მოტივირებული პიქტოგრამის შემთხვევაში.

ინდექსის პირდაპირი მნიშვნელობა_i განისაზღვრება როგორც მანიშნებელი. ინდექსების მაგალითებია *here, now, I, you, this*.

2.6.5 პრაგმატიკის მეხუთე პრინციპი (POP-5)

ინდექსის რეფერენციის მექანიზმი ემყარება მნიშვნელობა₁-ს, რომელიც განისაზღვრება როგორც ორი მახასიათებელი მანიშნებელიდან ერთ-ერთი. პირველი მათგანი მიანიშნებს აგენტის კონტექსტზე და ეწოდება კონტექსტური მანიშნებელი, ანუ *C* (←Context, მთარგმნელის შენ.), მეორე მიანიშნებს აგენტზე და ეწოდება აგენტის მანიშნებელი, ანუ *A*.

არს. სახელი <i>A</i>	არს. სახელი <i>C</i>	ზედსართავი <i>A</i>	ზედსართავი <i>C</i>
I, we	you	here	there
	he, she, it	now	then
	this, they		

ინდექსები, რომლებსაც აქვთ ერთი და იგივე მანიშნებელი, შეიძლება განსხვავდებოდნენ სხვა სიმბოლურ-გრაგმატიკული მახასიათებლებით. მაგალითად, სიტყვა *this*-ის კონტექსტური მანიშნებელი შეზღუდულია ერთეული, უსულო რეფერენტებით, ხოლო სიტყვა *they* შეზღუდულია მრავლობითი როგორც სულიერი, ისე უსულო რეფერენტებით. ანალოგიურად, *you* შეზღუდულია ნებისმიერი რაოდენობის და სქესის რეფერენტებით, რომლებიც მონაწილეობენ კომუნიკაციაში, ხოლო *he* შეზღუდულია მამრობითი სქესის ერთეული რეფერენტით, რომელიც მოცემულ მომენტში არ განიხილება კომუნიკაციაში მონაწილედ.

ისეთ საკუთარ სახელებში, როგორცაა *John* ან *R2D2*, პირდაპირი მნიშვნელობა_i-ის როლს ასრულებენ კერძო იგივეობის მარკერები. ისინი კონტექსტურ დონეზე ჩნდებიან, რათა მიუთითონ იმაზე, რომ რეფერენტის განსხვავებული ხატები ამოიცნობა როგორც ერთი და იგივე ინდივიდი.

ენობრივი უნარის მქონე ცნობიერ აგენტებში სახელდების აქტის დროს ხდება

კერძო მარკეტების (მათი ასლების) ხელახალი გამოყენება მათი დაკავშირებით საზოგადოებრივ დონესთან. ამის შემდეგ სახელით რეფერენცია იყენებს საზოგადოებრივ დონეს, რათა ყოველი აგენტის კერძო მარკეტი შეუსაბამოს ყოველ აგენტში რეფერენციის ობიექტის კოგნიტიურ რეპრეზენტაციას.

2.6.7 პრაგმატიკის მეექვსე პრინციპი (POP-6)

საკუთარი სახელის რეფერენციული მექანიზმი ემყარება კერძო მარკეტს, რომელიც უკავშირდება რეფერენციის ობიექტის კოგნიტიურ რეპრეზენტაციაში შემავალ შესაბამის მარკეტს.

სახელდების აქტი შეიძლება იყოს ექსპლიციტური, როგორც ნათლობის ცერემონიისას, ან იმპლიციტური, როგორც შემდეგ მაგალითში: აგენტი A ხედავს მისთვის უცნობ ძაღლს, რომელიც ბუჩქებში დარბის და ხან ჩნდება, ხან ეფარება ბუჩქებს. აღქმის უწყვეტობისთვის კოგნიტიურ სტრუქტურებში, რომელიც ახდენს A-ს კონტექსტში ძაღლის სხვადასხვა გამოჩენის რეპრეზენტაციას, ინერგება კერძო იგივეობის მარკეტი \$%&, რომელიც იმაზე მიუთითებს, რომ ისინი ერთსა და იმავე ინდივიდს წარმოადგენენ. ამის შემდეგ პატრონი ეძახის ძაღლს სახელით Fido. აგენტი A აცნობიერებს ამ სახელს – აკავშირებს რა \$%&-ს საზოგადოებრივი დონის Fido-სთან. ამიერიდან აგენტი A-სთვის სახელი Fido უკავშირდება მოცემულ ძაღლს, რამდენადაც სახელთან მიბმული კერძო მარკეტი უკავშირდება რეფერენტში (მის კოგნიტიურ რეპრეზენტაციაში) ჩანერგილ შესაბამის მარკეტს.

ნიშანთა სხვადასხვაგვარ ტიპებს (სიმბოლო, ინდექსი, საკუთარი სახელი) შორის სხვაობა მთავარ მეტყველების ნაწილებს (ზმნა, ზედსართავი სახელი, არსებითი სახელი) შორის სხვაობის ორთოგონალურია. მაგალითად, ზედსართავი (მეტყველების ნაწილი) შეიძლება შეგვხვდეს როგორც სიმბოლო ან ინდექსი (ნიშნის ტიპი) – მაგრამ არა როგორც საკუთარი სახელი.

ასეთი დამოუკიდებლობა ფუნქციონალურად არის მოტივირებული: მეტყველების ნაწილები მართავენ წინადადებაში სიტყვის კომბინატორიკას (ჰორიზონტალურ მიმართებებს), ხოლო ნიშანთა ტიპები განსაზღვრავს რეფერენციულ მექანიზმს, რომელიც სიტყვის მნიშვნელობას კონტექსტთან აკავშირებს. ნიშანთა ტიპების და მეტყველების ნაწილების კორელაცია აღწერილია პრაგმატიკის მეშვიდე პრინციპში:

2.6.8 პრაგმატიკის მეშვიდე პრინციპი (POP-7)

სიმბოლოები გვხვდება როგორც ზმნები, ზედსართავები და არსებითი

COMPUTATION

სახელები. ინდექსები გვხვდება როგორც ზედსართავები და არსებითი სახელები. საკუთარი სახელები გვხვდება მხოლოდ როგორც არსებითი სახელები.

და პირიქით: არსებითი სახელები გვხვდება როგორც სიმბოლოები, ინდექსები და საკუთარი სახელები; ზედსართავები გვხვდება როგორც სიმბოლოები და ინდექსები; ზმნები გვხვდება მხოლოდ როგორც სიმბოლოები.²⁷

საილუსტრაციოდ განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი:

2.6.9 ურთიერთმიმართება ნიშნის ტიპებსა და მეტყველების ნაწილებს შორის

საკ. სახელი	Fido		
ინდექსი	this	here	
სიმბოლო	dog	black	see
	არს. სახ.	ზედ. სახ.	ზმნა

ნიშანთა ტიპებიდან მეტყველების ნაწილების მიმართ ყველაზე ზოგადი არის სიმბოლო, ხოლო საკუთარი სახელი ყველაზე შეზღუდულია. და პირიქით, მეტყველების ნაწილებს შორის სხვადასხვა ტიპის ნიშნების მიმართ ყველაზე ზოგადი არის არსებითი სახელი (ობიექტი, არგუმენტი), ხოლო ზმნა (მიმართება, ფუნქტორი) არის ყველაზე შეზღუდული.

წინადადებებში ხდება სხვადასხვა მეტყველების ნაწილების კომბინირება იმის მიუხედავად, თუ ნიშნის რომელი ტიპი არის გამოყენებული. მაგალითად, შემდეგ ორ წინადადებაში კომბინირებულია ერთი და იგივე მეტყველების ნაწილები, მაგრამ გამოყენებულია ნიშანთა სხვადასხვა ტიპები:

2.6.10 წინადადებებში მეტყველების ნაწილთა და ნიშანთა ტიპების კორელაცია

	არს. სახ.	ზმნა	ზედს. სახ.
საკ. სახელი	John		
სიმბოლო		slept	
სიმბოლო			in the kitchen
ინდექსი	he		
სიმბოლო		slept	
ინდექსი			there

²⁷ ეს ეხება სემანტიკურ ბირთვს და არ ეხება წინააღმდეგება იმ ფაქტს, რომ ინგლისურ, გერმანულ და სხვა ევროპულ ენებში ზმნები შეიცავენ მკაფიოდ ინდექსურ კომპონენტს, კერძოდ, დროით სისტემას, რაც არ ახასიათებს, მაგალითად, ჩინურს.

პრაგმატიკის ეს შვიდი პრინციპი არა მარტო თეორიული თვალსაზრისით არის საინტერესო, არამედ სერიოზულ გავლენას ახდენს კომუნიკაციაში სისტემის პრაქტიკულ დანერგვასა და ბაზისურ ფუნქციონირებაზე. POP-1 საშუალებას იძლევა ერთმანეთისგან განვასხვაოთ ნიშანთა ტიპის პირდაპირი მნიშვნელობა, და გამონათქვამში კონკრეტული ნიშნის გამოყენების მნიშვნელობა₂-ის ასპექტები – რაც არის ზედაპირული კომპოზიციურობის პრინციპის თანახმად სისტემური სინტაქსურ-სემანტიკური ანალიზის წინაპირობა. POP-2 უზრუნველყოფს ათვლის წერტილს ინდექსების დროით-სივრცული ინტერპრეტაციისთვის და, ამდენად, გამოყენების სწორი კონტექსტის პოვნის წინაპირობაა. POP-3 განსაზღვრავს ინტერპრეტაციის უნიფიცირებულ მექანიზმს, რომელიც მუშაობს მოლაპარაკისა და მსმენელის რეჟიმში. POP-4, POP-5 და POP-6 ნიშანთა ყოველი ტიპისთვის განმარტავენ, თუ როგორ უკავშირდება ის ნაგულისხმევ რეფერენტს ინტერპრეტაციის კონტექსტში. POP-7 განსაზღვრავს, თუ თითოეული მეტყველების ნაწილისთვის რეფერენციის სამი ხსენებული მექანიზმიდან რომელი უნდა იქნეს გამოყენებული.

პრაგმატიკის შვიდ პრინციპზე დაყრდნობით ენის SLIM თეორია ახდენს ბუნებრივი კომუნიკაციის მექანიზმის მოდელირებას აბსტრაქციის იმ დონეზე, სადაც ენის გააზრებული გამოყენება (i) ადამიანსა და ადამიანს შორის თუ (ii) ადამიანსა და სათანადოდ კონსტრუირებულ კოგნიტიურ მანქანას შორის საერთო პრინციპებს ემყარება – ზუსტად ისე, როგორც ისარი და ავიალაინერი დაფრინავენ აეროდინამიკის საერთო პრინციპების საფუძველზე.

მონაცემთა ბაზის სემანტიკა შემუშავდა როგორც SLIM-ის ტექნიკური რეალიზაცია მოქმედი კომპიუტერული პროგრამის ფორმით. SLIM-ის ინტუიციური თეორიის შემუშავება ხდებოდა მონაცემთა ბაზის სემანტიკის ტექნიკური საშუალებების შემუშავების პარალელურად, კერძოდ, LA-გრამატიკის ალგორითმისა – CoL'89-ში და სიტყვათა ბანკის მონაცემთა სტრუქტურისა – FoCL'99-ში (იხ. ასევე TCS'92 და AIJ'01).

თარგმნა ლადო ლეკიაშვილმა

A PARALLEL CORPUS OF THE OLD GEORGIAN GOSPEL MANUSCRIPTS AND THEIR STEMMATOLOGY

Natia Dundua, Armin Hoenen, Lela Samushia

Abstract. In the frame of LOEWE research unit “Digital Humanities”, a parallel corpus of the oldest Georgian Gospel manuscripts is being prepared at the University of Frankfurt/Main. The aim of the project is to establish an electronic synthesis of all of the most important Georgian Gospel manuscripts on the basis of parallel-diplomatic editions allowing scholars to compare the different versions of the text verse-by-verse. The software program used for the storage of the texts is Toolbox, which has proven to be a convenient working tool for entering a large and structured set of parallel text versions. In the present project instead of collecting and editing the evidence from a minor set of witnesses, information from all of the most important sources available has been reproduced faithfully and completely reported in a parallel format for the first time. After the preparation of a comprehensive electronic database of all texts available, it is planned to automatically group the manuscripts according to the different redactions with a view to generation of their stemmatic interdependences and to compare each redaction with Greek and Armenian sources.

Keywords: Old Georgian Gospel Manuscripts, Parallel-diplomatic corpus, Stemmatology

1 Introduction

In the frame of LOEWE research unit “Digital Humanities”, a parallel corpus of the oldest Georgian Gospel manuscripts is being prepared at the University of Frankfurt/Main. The aim of the project is to establish an electronic synthesis of all of the most important Georgian Gospel manuscripts on the basis of parallel-diplomatic editions allowing scholars to compare the different versions of the text verse-by-verse. This kind of edition enables the reader to grasp the variations between the witnesses at a glance. This is an extremely useful prerequisite for identifying textual variants in a given context, and for determining which version might be usable as the base text for a critical edition.

2 The History of the Old Georgian Gospel Manuscripts

The history of the Old Georgian Gospel manuscripts begins with the palimpsest manuscripts from the 5th - 7th centuries and ends with the manuscripts from the 18th century.

Today, about 300 manuscripts of the Four Gospels are known in Georgian. Of these, about 40 codices include the oldest text versions of the Gospels.

Scholars assume that there were three redactions of the New Testament in Georgian, each representing different stages in the translation process:

- the **Adishi** redaction (IX c.)
- the **Praeathonic** redaction (5th-10th cc.)
- the **Athonic** redaction (from the end of the 10th c. on).

Within the **Athonic** redaction we can further differentiate two sub redactions, known as Ekvtime and Giorgi’s redactions.

3 The History of Editing of the Georgian Gospels

Traditionally, there are several types of manuscript editions: 1) **critical editions**, which use the evidence from all manuscript witnesses to create a single (“critical”) text; 2) **diplomatic editions**, which aim at providing an exact rendering of the contents of one or

COMPUTATION

several given manuscripts, sometimes – in parallel arrangement; 3) **facsimile editions** (from Latin *fac simile* “make - alike”), which provide photographic reproduction of a manuscript.

For the time being, there is no critically accepted text of the Gospels in Georgian. A principle feature of all previous editions has been the eclectic nature of the text, which means that the edited texts mix together words or phrases from several different manuscripts. Only recently scholars have started to publish also diplomatic editions of some Georgian Gospel manuscripts.

In the present project, however, instead of collecting and editing evidence from a minor set of witnesses, information from all of the most important sources available has been reproduced faithfully and completely reported in a parallel format for the first time.

4 Sources

Our scientific group is working with the following kinds of sources (all dating from the 9th to 12th centuries):

- I. **Photos of the manuscripts** [*Kurashi* 11th c.), *Tviberi* (11th c.), *Vienna* (11th c.)];
- II. **Facsimile editions** [*Adishi* (897 A.D.), *Anbandidi* (9th c.)];
- III. **Edited texts: *diplomatic, parallel* and *critical editions*** [*Opiza* (913 A.D.), *Jrutchi* (936 A.D.), *Parkhali* (973 A. D.)], *Sinai* (978 - 979 A.D.) *Tbeti* (995 A.D.), *Urbnisi* (beginning of the 11th c.), *Palestina* (1048 A.D.), *Gelati* (12th c.), *Vani* (12th-13th cc.), *Echmiadzini* (12th-13th cc.)].

In the editions which are built upon the evidence from several manuscript witnesses to create a “critical” text, variants are usually given in an *apparatus criticus*. In these cases we reconstruct the original wording of the manuscripts from the apparatus and edit each manuscript separately.

The resulting parallel corpus of the Georgian Gospel manuscripts will present the texts in their original form side by side, which means that a) nothing is corrected, not even the mistakes presumably made by copyists; and b) abbreviations remain discernible as they are, with the abbreviated letters being indicated in brackets. In the manuscripts of which we have photographs or facsimile prints, the punctuation marks used in the texts are rendered as well.

COMPUTATION

7 Manuscript variation and the Vorlage problem

According to *E. Tov* (1997:4), “the study of the biblical text involves an investigation of its development, its copying and transmission, and of the processes which created readings and texts over centuries. Some of these differences were created in the course of the textual transmission, while others derived from an earlier stage. Scholars try to isolate and evaluate the readings which were created during the textual transmission by comparing them with other textual data”.

It is known that medieval copyists used to work on one or more *Vorlagen*. As a rule, copying the text caused changes in several ways, and the reason of the changes could have been of two natures:

- 1) *Clerical mistakes*: Although it is known that the copyists tried to be as accurate as possible while copying, that is why they are known as ‘mirror-copyists’¹, they were nevertheless not secure from errors (such as misspellings, homoioteleutons, homoioarctons etc.);
- 2) *Purposeful change of text*: Adequacy and accuracy were always aimed at in the production of Old Testament and New Testament translations: As the Holy Book was regarded as the word of God proper, people believed that “it should say the one and the same” in every language. The translators of the Bible were keen not to add or take away anything, but to protect the original shape and wording. The old translators did not attempt to adapt the texts to their readers by adjusting readings etc., but to transmit the wording of the original as exactly as possible – both in its semantics and in its style of expression. For them, the primary concern during the process of translation was to provide the sense of the internal faith in their translations, thus preserving what “the Holy Spirit would have given” them (Kharanauli 2003: 17-21). In spite of this, however, the editors or copyists of the manuscripts used to change the text purposefully under the peculiar conditions.

Such changes between the texts were of two natures:

1. Intra-lingual:

- Different spellings: changes may be due to misspellings or cases of adaptation resulting from language change. If, e.g., the language of the copyist has undergone a vowel change, the copyist may decide to replace the “incorrect” form of a given word by a “correct” one;
- Different kinds of abbreviations: abbreviations were usually copied as they were, but it

¹ The term is from Benskin & Laing (1981).

happens that a given word is abbreviated differently in different manuscripts;

- When the translator or the copyist did not know the exact equivalent of a given word in Georgian, he tried to select a maximally exact equivalent, but this was not necessarily the best choice for the next copyist. This person then exchanged it with other words, thus establishing new notions, or transliterated foreign words;
- Grammatical changes such as, e.g., the exchange of passive and active diathesis, relative constructions, or other examples of modernization of the grammar;
- Addition/omission, mostly in an attempt to make clear the meaning to the reader.

2. Different sources:

Variations among the Georgian Gospel manuscripts sometimes are caused by different sources:

- When the different Georgian manuscripts have different Greek, Armenian or other *Vorlagen*; for Greek, the project can rely upon Swanson's (1995) parallel edition of all Greek Gospel manuscripts and for the Armenian so-called Zohrab's Bible;
- When differences between the manuscripts are caused by the internal interplay of different Georgian redactions.

After preparation of a comprehensive electronic database of all texts available, it is planned to automatically group the manuscripts according to the different redactions with a view to generation of their stemmatic interdependences and to compare each redaction with Greek and Armenian sources.

8 Stemmatology

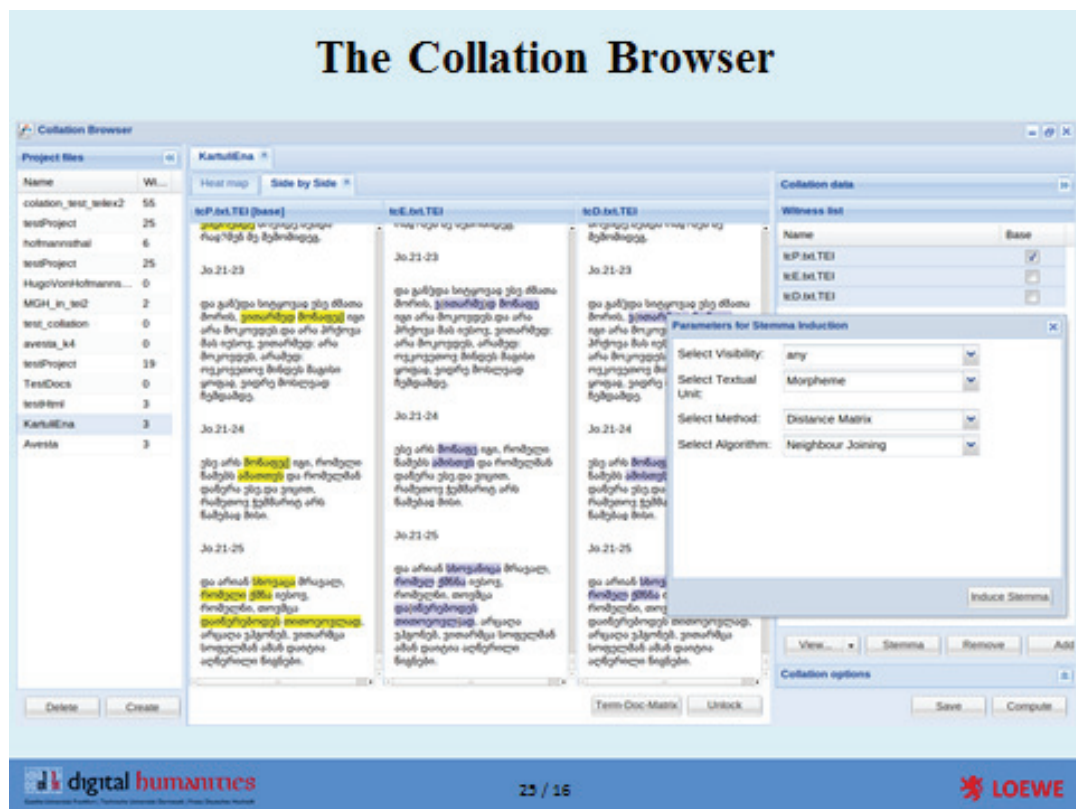
Stemmatology studies the genealogical relationships of textual witnesses. Furthermore it comprises the representation of these relationships as graphs, most often as trees. It addresses questions, such as which manuscript has been the *vorlage* for the other or which manuscript is the closest to an archetype or whether there are several archetypes, can redactions be located, which manuscripts are the most peculiar and so forth. A special focus of attention can be the multilingual stemma generation involving both Armenian and Greek sources.

COMPUTATION

9 eHumanities Desktop

In the eHumanities Desktop, a web-based computing platform for humanists, one module, the Collation Browser, shall enable textual scholars

- a) to compare Manuscripts via a File DIFF algorithm and
- b) to generate parameterized stemmata for individual (sub)corpora.



10 Parameters for Stemma Induction

For the stemma induction, different parameters can be used to generate a stemma with the focus on different characteristics of the witnesses. By choosing a distance-based method whilst ignoring differences of easily confusable, thus likely corrected and hence stemmatologically less significant deviations, a stemma can be obtained that might be different from a character-based stemma. A comparison of the results can lead to new

insights on which methods are preferable for which textual data as is known in biology. We focus on the following parameters:

- Layout: the graphical layout of the relationship-graph
- Linguistic Unit: the linguistic, metric or textual unit (performance related)
- Method: Distance-based (letter similarity, performant) and Character-based (sequence sensitive)
- Algorithm: various bioinformatical algorithms, plus new variants and implementations of exclusively textual analyses stemma generation

11 Innovations of the system

To the best of our knowledge, it is one of the first platform for web based automatic stemma generation, with a choice of individual subcorpora, algorithms and linguistic unit. The TLab Alphabet XML in which the letter similarities are stored is another development generally applicable for the representation of alphabets and other writing systems.

12 TLab Alphabet XML

The header contains the general information about the applied writing system, such as letters, letter names, the canonical sequence of the letters and so on. For each letter pair of a writing system, the three modal distances of the visual, acoustic and motoric faculties are stored in a range of 0-9.

```
<letterPair>
  <name>Φ Ⴃ</name>
  <type>bidirectional</type>
  <visualDist>9</visualDist>
  <acousticDist>2</acousticDist>
  <motoricDist>9</motoricDist>
</letterPair>
```

COMPUTATION

13 Character-based Stemma Generation

For the Georgian data we applied a character-based stemma generation where each verse line was converted into a genetic letter for a manuscript.

1) The data of a verse and letter assignment according to identity:

```
\c Jo.20-28
\tac მიოვგო და ჰრქოვა თომა ო{ვფად}ი ჩემი და ღ{მერ}თი ჩემი >> A
\tc მიუვო თომა და ჰრქუა მას: უფადი ჩემი და ღმერთი ჩემი! >> B
\tcR მიუვო თომა და ჰრქუა მას: უფადი ჩემი და ღმერთი ჩემი! >> B
\tcP მიოვგო თომა და ჰრქოვა მას: ოვფადი ჩემი და ღმერთი ჩემი! >> C
```

2) Appending the letter to the genetic code of each manuscript:

```
taC —> CCCCCCCBCCCCBCC + A
tc —> AAAAAAAAAAAAAAAAAA + B
tcR —> DDDADDADABDDBCADD + B
tcP —> EEEAEEABABEEDDDEE + C
```

This letter was appended to a manuscript DNA and served as the basis for a given stemma: **Georgian Manuscript Stemma**

