

მიხეილ ჭინჭარაული

მობილური Ad hoc ქსელების მარშრუტიზაციის
პროტოკოლების კვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
მარტი, 2013

© 2013, მიხეილ ჭინჭარაული

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი, ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მიხეილ ჭინჭარაულის მიერ შესრულებულ სადოქტორო დისერტაციას დასახელებით «მობილური Ad hoc ქსელების მარშრუტიზაციის პროტოკოლების კვლევა» და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

2013 წლის მარტი

ხელმძღვანელი:

_____ /ოლეგ ნამიჩეიშვილი/

რეცენზენტები:

_____ /ოთარ ლაბაძე/

_____ /ცისანა ხომტარია/

ხარისხის უზრუნველყოფის

სამსახურის უფროსი, სრ. პროფ.:

_____ /ზურაბ ბაიაშვილი/

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: მიხეილ ჭინჭარაული
დასახელება: მობილური Ad hoc ქსელების მარშრუტიზაციის
პროტოკოლების კვლევა
ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების
ფაკულტეტი
ხარისხი: დოქტორი
სხდომა ჩატარდა: 2013 წლის 30 მარტი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემომოყვანილი დასახელების ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

/მიხეილ ჭინჭარაული/

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებულ საავტორო
უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვს მხოლოდ სპეციფიკურ
გამოყენებას ლიტერატურის დამოწმებისას სამეცნიერო ნაშრომებში
მიღებული ფორმით) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

მიძღვნა

ნაშრომს ვუძღვნი ჩემს საყვარელ მშობლებს, რომლებმაც ფასდაუდებელი შრომა გაწიეს ჩემი ნათელი მომავლის შესაქმნელად.

განსაკუთრებული მადლობა მინდა გადავუხადო მეუღლეს, რომელიც გვერდში მედგა ამ ნაშრომზე მუშაობისას.

რეზიუმე

Ad hoc იგივე ეპიზოდური ქსელი ეს არის ერთობლიობა უსადენო მობილური კვანძების რომლებიც ქმნიან დროებით ქსელს არსებული ქსელური ინფრასტრუქტურის და ცენტრალური ადმინისტრაციის გარეშე. მარშრუტიზაციის ალგორითმებმა, რომლებიც გამოიყენება ეპიზოდურ ქსელებში, ავტომატურად უნდა შეისწავლონ გარემოება, რაც მოიცავს მობილურობისა და გამტარუნარიანობის მაჩვენებელს. ეს თეზისი ხსნის იმას, რომ ასეთმა მარშრუტიზაციის ალგორითმებმა უნდა იმუშაონ მოთხოვნის მიხედვით და უნდა მოახდინონ განსაზღვრა იმ კვანძებისა, რომლებზეც უნდა მოხდეს ცვლილება ქსელში ტოპოლოგიის შეცვლის შემთხვევაში. ამ ორი პრინციპული მიდგომის განსახორციელებლად მე გამოვიკვლიე მარშრუტიზაციის ალგორითმი Dynamic Source Routing(DSR). მისი უნიკალური თვისებების შედეგად, კვანძი ეჩვევა ისეთ გარემოებას როდესაც კვანძების გადაადგილება არის ხშირი. DSR მარშრუტიზაციის ალგორითმის ანალიზით მე შევისწავლე თუ როგორ არის მისი ქცევა განუსაზღვრელ გარემოებაში და მისი გამოყენების თავისებურებები, რომლითაც შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ ახალ მარშრუტიზაციის ალგორითმებში, რომლებიც იმავე კონცეფციით არის აწყობილი როგორც DSR.

პირველ თავში ჩვენ მოკლედ მიმოვიხილავთ მობილური ეპიზოდური ქსელების მარშრუტიზაციის ალგორითმებს. აღნიშნულ თავში აღწერილი იქნება პროაქტიული და რეაქტიული მარშრუტიზაციის პროტოკოლები როგორ მუშაობენ ისინი და რა გამოწვევები გვხდება. მე ასევე შევეხები აღნიშნული თემის აქტუალურობას.

მორე თავი დაიწყება DSR ოქმის შესწავლით, რომელიც განეკუთვნება მოთხოვნად მარშრუტიზაციის ალგორითმებს. აღწერილი იქნება მისი მუშაობის პრინციპები: მარშრუტის მოძიება, მარშრუტის

მომსახურება. მოცემულ თავში მე აღვწერ DSR ალგორითმის ოპტიმიზაციის მეთოდებს, რაც შემდგომ კვლევაში გამოგვადგება, რომ ვუპასუხოთ იმ გამოწვევებს რაც შეგვხვდება. სიმულაციისათვის გამოყენებული პროგრამული უზრუნველყოფა NS2. მასთან ერთად საჭირო პროგრამები აღწერილი გვექნება ამ ნაწილში. მე ვრცლად ვისაუბრებ კვანძების გადაადგილების მოდელებზე რაზე დაყრდნობითაც იქნება შესრულებული სიმულაციები.

მესამე თავში ჩვენ გავაკეთებ ანალიზს სიმულაციის შედეგებისა, რომელსაც ვატარებდით DSR ოქმის გამოყენებით. ჩატარებული სიმულაციებიდან ჩვენი კვლევისთვის საჭირო იქნება შემდეგი ინფორმაციები: რა გავლენა აქვს მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციას პაკეტის დაყოვნებაზე, რა ზედნადები აქ ოქმის მოთხოვნისამებრ მახასიათებელს, რა დრო სჭირდება DSR ალგორითმს რომ აღადგინოს მარშრუტი, მარშრუტიზაციის ქეშირების ეფექტები, მათი სიზუსტე და გავლენა მარშრუტიზაციის ოქმზე. ამის შემდეგ ჩვენ ანალიზს გავუკეთებთ იმ ოპტიმიზაციებს რასაც ჩვენ ჩავატარებთ. მიღებული შედეგი იქნება სიმულაციაზე დაყრდნობით და გადმოცემული იქნება ცხრილებისა და ნახაზების სახით. განსაკუთრებული კვლევის საგანი იქნება, ქეშირების, მესიჯების გავრცელებისა და მარშრუტის აღდგენის მეთოდები.

მეოთხე თავი დაეთმობა DSR ალგორითმი შედარებას სხვა ალგორითმებთან. DSR შედარებული იქნება როგორც რეაქტიულ ასევე პროაქტიულ პროტოკოლებთან. ამ თავში შეფასებული იქნება მათი მუშაობები და ჩვენ საშუალება გვექნება რომ გრაფიკულად ვიხილოთ მიღებული შედეგები.

ნაშრომის ბოლო ნაწილში მე ხაზს გავუსმავ იმ მნიშვნელოვან აღმოჩენებს რაც ნაშრომის შედეგად მივიღეთ, აღვწერთ თუ რა გამოწვევები დარჩა და მომავალში რა იქნება გასაკეთებელი.

Abstract

Mobile Ad hoc networks (MANETS) are self-created and self organized by a collection of mobile nodes, interconnected by multi-hop wireless paths in a strictly peer to peer fashion. Routing protocols used in Ad hoc networks must automatically adjust to environments that can vary between the extremes of high mobility with low bandwidth, and low mobility with high bandwidth. Route caches in intermediate mobile node on DSR are used to reduce flooding of route requests. But with the increase in network size, node mobility and local cache of every mobile node cached route quickly become stale or inefficient. This thesis argues that such protocols must operate in an *on-demand* fashion and that they must carefully limit the number of nodes required to react to a given topology change in the network. The thesis proves the practicality of the DSR protocol through performance results collected from a full-scale 50 node testbed, and it demonstrates several methodologies for experimenting with protocols and applications in an Ad hoc network environment, including the emulation of Ad hoc networks.

The First chapter of this thesis will consist of a brief overview and study of mobile ad-hoc routing protocols: How these routing protocols operate and what are the challenges that we meet.

The Second chapter gives us an overview of the operation of the DSR protocol. Two basic mechanisms of DSR are considered: Route Discovery and Route Maintenance. In this chapter optimization methods are discussed for DSR to achieve optimal routing in constantly moved scenario. Later, our study will involve these optimization methods to give us the answers for the challenges we meet. This chapter also describes a methodology for evaluating protocols in an Ad hoc network environment, namely NS2 simulator is described. We will cover movement models of nodes in a detailed manner.

In the third part of this thesis we will analyze simulation results of DSR Protocol. Our simulation will focus on following topics: What effect does on-demand routing have on packet latency, What is the overhead cost of on-demand routing behavior, How long does it take the protocol to recover from a broken route, When caching the results of on-demand routing decisions, what is the level and effect of caching and cache correctness on the routing protocol. Later we will analyze each optimization that we have made and prove their usefulness with facts received from simulation results.

The Fourth chapter will cover performance analysis of Ad hoc routing protocols which were held in special simulation environment, DSR protocol will be compared to other protocols. We will compare these outputs to each other.

Lastly, we will make conclusion regarding our work, what lessons were learnt, What factors were critical for our research, and how do we solve our challenges, what optimizations were made and future work.

შინაარსი

შესავალი	14
I ლიტერატურის მიმოხილვა	19
II შედეგები და მათი განსჯა.....	24
თავი 1 - მობილური Ad hoc ქსელების მიმოხილვა	24
§ 1.1 შესავალი	24
§1.2 პროექტიული და რეაქტიული მარშრუტიზაცია	26
§1.3 მარშრუტიზაციის ალგორითმის პირობები.....	26
§1.4 მარშრუტიზაცია DSR ქსელებში	27
§1.5 თავის მოკე შინაარსი	29
თავი 2 - მარშრუტიზაციის DSR პროტოკოლი უსადენო ქსელებისათვის	30
§2.1 DSR-ის მიმოხილვა.....	30
§2.2 წყაროს მარშრუტიზაცია	31
§2.3 მარშრუტის გამოვლენა (პოვნა)	32
§2.4 მარშრუტის მომსახურება	34
§2.5 მარშრუტის ქეში	34
§2.6 DSR-ის ოპტიმიზაციები.....	35
§2.7 მოქმედების სავარაუდო სფერო DSR ოქმისთვის.....	38
§2.8 პროტოკოლების შეფასება Ad hoc ქსელებისათვის.....	39
§2.9 NS2 პროგრამული უზრუნველყოფა	40
§2.10 კვანძების განთავსება.....	42
§2.11 ობიექტის გადაადგილების მოდელები	43
§2.11.1 Random Walk Mobility Model - შემთხვევითი ხეტიალის მობილობის მოდელი	43
§2.11.2 Random Waypoint Mobility - მარშრუტის შემთხვევითი წერტილის მობილობა	46
§2.12 გადაადგილების მოდელის არჩევის მნიშვნელობა	49
თავი 3 - DSR-ის მოდელირების ანალიზი	54
§3.1 სიმულაციის მოდელი	56
§3.2 მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაცია და დაყოვნება	57
§3.3 მარშრუტიზაციის ინფორმაციის გავრცელება ქსელში.....	60

§3.4 განსხვავებული ტოპოლოგიის ეფექტი.....	65
§3.5 დაყოვნების შედეგების შეჯამება	66
§3.6 მოთხოვნისამებრ მარშრუტის შესწავლა	67
§3.7 მოთხოვნისამებრ მარშრუტის შეკეთება.....	73
§3.8 ქეშის შესაბამისობა მოთხოვნისამებრ პროტოკოლებში.....	75
§3.9 თავის შეჯამება	82
თავი 4 - მარშრუტიზაციის ოქმების შედარებითი ანალიზი	85
§4.1 სტატიკური Ad hoc ქსელის კვლევა.....	87
§4.2 პროტოკოლების შეფასების პარამეტრები	88
§4.3 დინამიური Ad hoc ქსელის კვლევა	90
§4.4 დასკვნები.....	93
III დასკვნა.....	96
გამოყენებული ლიტერატურა	99

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1.1 კავშირი კვანძებს შორის (A-D)	25
ნახაზი 2.1 DSR ოქმის ფუნქციონირება	31
ნახაზი 2.2 მარშრუტის შესწავლა DSR ალგორითმის შემთხვევაში	33
ნახაზი 2.3: კვანძების მოძრაობის პირველი მაგალითი შემთხვევითი ხეტიალის მობილობის მოდელის (Random Waypoint Mobility Model) შემთხვევაში	45
ნახაზი 2.4: კვანძების მოძრაობის მეორე მაგალითი შემთხვევითი ხეტიალის მობილობის მოდელის (Random Waypoint Mobility Model) შემთხვევაში	45
ნახაზი 2.5: მობილური კვანძების მოძრაობა Random Waypoint Mobility Model-ის შემთხვევაში (133, 180) კოორდინატების საწყისი წერტილიდან.....	46
ნახაზი 2.6: მეზობელი მობილური კვანძების საშუალო პროცენტული წილის დამოკიდებულება სიმულაციის ხანგრძლივობაზე.....	48
ნახაზი 2.7: დანიშნულების ადგილამდე მონაცემთა პაკეტების დროულად მიტანის პროცენტის დამოკიდებულება საშუალო სიჩქარეზე.....	51
ნახაზი 2.8 : მონაცემთა გადაცემის გამჭოლი მარშრუტის საშუალო დაყოვნების დამოკიდებულება საშუალო სიჩქარეზე.....	52
ნახაზი 2.9: ნახტომების (რეტრანსლატორების) საშუალო რიცხვის დამოკიდებულება საშუალო სიჩქარეზე.....	52
ნახაზი 3.1 შუამავალი კვანძების დამოკიდებულება დაყოვნებაზე	60
ნახაზი 3.2 მარშრუტის შეკეთების მაგალითი	73
ნახაზი 3.3 მარშრუტიზაციის ქეში ინფორმაციის სიზუსტე.....	81
ნახაზი 4.1 გატარების საშუალო უნარი.....	88
ნახაზი 4.2 შეტყობინების დაკარგვის ალბათობა	89
ნახაზი 4.3 საშუალო დაყოვნება	89
ნახაზი 4.4 გატარების საშუალო უნარი.....	91
ნახაზი 4.5 შეტყობინების დაკარგვის ალბათობა	91
ნახაზი 4.6 საშუალო დაყოვნება	92
ნახაზი 4.7 გატარების საშუალო უნარი.....	93
ნახაზი 4.8 შეტყობინების დაკარგვის ალბათობა	93
ნახაზი 4.9 საშუალო დაყოვნება	94

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 3.1 მარშრუტზაციის დამოწმების მესიჯის მოსვლის დაყოვნება..	62
ცხრილი 3.2 მარშრუტის დამოწმების მესიჯების დაყოვნება (არაგავრცელებადი მეთოდი გათიშულია)	63
ცხრილი 3.3 დაყოვნება მარშრუტიზაციის დამოწმების მესიჯების (ქეშირების და არაგავრცელებადი გაგზავნის ოპტიმიზაციები გამორთულია).....	65
ცხრილი 3.4 დაყოვნებების შედარება ოპტიმიზაციის მეთოდების მიხედვით (კვადრატული არე)	66
ცხრილი 3.5 გავრცელებადი და არაგავრცელებადი მესიჯების მიმოხილვა	68
ცხრილი 3.6 პაკეტების გავრცელების ანალიზი, როდესაც ქეშის ოპტიმიზაცია გათიშულია	70
ცხრილი 3.7 გადაცემული მესიჯების ანაზლი, არაგავრცელებადი მეთოდი გამორთულია	71
ცხრილი 3.8 მარშრუტრიზაციის შეცდომები (მუდმივი მოძრაობა, ოპრიმიზირებული DSR, მართკუთხა არე).....	75
ცხრილი 3.9 ზუსტი მარშრუტების წილი, რომელებიც დაბრუნდენ მარშრუტის შესწავლის შედეგად.	80

მადლიერება

ამ ნაშრომის მომზადებაში მრავალ პირს აქვს მიღებული მონაწილეობა ინტელექტუალური, მეცნიერული, მორალური თუ ტექნიკური თვალსაზრისით. მათი მეგობრული განწყობა და უანგარო დახმარება უდიდესი პატივია ცემთვის.

განსაკუთრებულ მადლიერებას გამოვხატავ ჩემი სამეცნიერო ხელმძღვანელის პროფესორ ოლეგ ნამიჩეიშვილის მიმართ, რომლის ყურადღების, მზრუნველობისა და შენიშვნების, ასევე ხანგრძლივი საუბრების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ამ ნაშრომის საბოლოო სტრუქტურისა და შინაარსის ჩამოყალიბება.

სასიამოვნო მოვალეობად მიმაჩნია გულწრფელი მადლობა გადავუხადო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორ-მასწავლებლებს უანგარო დახმარებისა და მუდმივი ინტერესის გამო.

შესავალი

კვლევის აქტუალობა. წინათ აქტიურად ვითარდებოდა სტატიკური (კომპიუტერული) ქსელები. კავშირგაბმულობის თანამედროვე საშუალებების მნიშვნელოვანი მობილურობა, ლოკალური და სხვა ქსელების ტოპოლოგიის აქტიური ცვალებადობა მოითხოვს ახალი მიდგომების განვითარებას მათი ანალიზისადმი, დაპროექტების ახალი საშუალებებისა და მდგრადი მუშაობის ახალი ალგორითმების შექმნისადმი. სააბონენტო ტერმნალების - ერთ კვანძში განთავსებული მიმღებ-გადამცემისა და მარშრუტიზატორის - თვისებათა ინტეგრაცია, ასევე რესურსების (საკუმულატორო კვების) შეზღუდულობა წარმოქმნის დამატებით სირთულეს როგორც Ad hoc (სხვანაირად, ეპიზოდური) ქსელების დაპროექტების თვალსაზრისით, ასევე ტრაფიკის გარანტირებული მიწოდების, კავშირში შესვლის მოცემული დროის უზრუნველყოფის, ე.ი. მომსახურების ხარისხის მხრივაც.

ეპიზოდურ, ანუ Ad hoc ქსელებს, ჩვეულებრივ, უწოდებენ უსადენო ლოკალურ (ქალაქის ან პერსონალურ) ქსელებს, რომლებშიც კვანძებს (მობილურ აბონენტებს) აქვს ერთნაირი სტატუსი (ერთრანგიანი) და შეუძლია შეტყობინებათა თავისუფალი გაცვლა-გამოცვლის განხორციელება ქსელის სხვა აბონენტებთან წვდომის ზონის, ანუ რადიოხილვადობის ფარგლებში. ვინაიდან გადაადგილებისას «მოსაუბრე» კვანძები შეიძლება გაცდეს რადიოხილვადობის საზღვრებს, ქსელებში გამოიყენება პაკეტების რეტრანსლირება მიმღებისაკენ ქსელის სხვა აბონენტების მეშვეობით (მრავალნახტომიანი, მრავალრეტრანსლატორიანი გადაცემა). ასეთ მიდგომის შესაბამისად ეპიზოდური ქსელის ყოველი მობილური აპარატი მოქმედებს როგორც შეტყობინებათა გადამცემი, მიმღები და რეტრანსლატორი. რეტრანსლატორის ფუნქცია გულისხმობს რადიოსიგნალის მიღებას, მის გაძლიერებას და შემდეგ გადაცემას. ეპიზოდურ ქსელში მობილური აპარატის ამ ფუნქციებს ემატება მარშრუტიზაციის ფუნქციაც. ქსელის ლოკალური ხასიათი განპირობებულია

მხოლოდ შეზღუდვებით სიგნალის გავრცელებაზე პირდაპირი ხილვადობის საზღვრებში და ენერგეტიკული შეზღუდვებით რეტრანსლაციაზე.

მოკლედ რომ ვთქვათ, ეპიზოდური ქსელები წარმოადგენს დარეგისტრირებული მომხმარებლების (აბონენტების) დროში ცვალებადი ტოპოლოგიის მქონე ქსელებს, რომლებშიც შეტყობინებათა გადაცემა ადრესატიდან მიმდებამდე ხორციელდება შეტყობინებათა რეტრანსლაციით ქსელის მონაწილეთა მიერ. მოძრავი აბონენტებით შექმნილი ქსელის ძირითად პრობლემას წარმოადგენს აბონენტთა «ბმულობის», «შეერთებადობის», «მისაწვდომობის» დაცვა, შენარჩუნება ერთიან ქსელურ სივრცეში. აბონენტთა მოძრაობის გამო ინფორმაციის გადაცემის მარშრუტი პერმანენტულად იცვლება და მისი წინასწარმეტყველება ძნელია. მარშრუტიზაციის ადეკვატური ალგორითმის არჩევა - ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესია ეფექტური Ad hoc (ეპიზოდური) ქსელების ასაგებად.

ასეთი ქსელების დაპროექტებისას ძირითადი საკითხია: როგორ წარიმართოს ქსელის მუშაობა ისეთნაირად, რომ კვანძების არაპროგნოზირებადი გადაადგილების პირობებში გარანტირებული აღმოჩნდეს შეტყობინების მიტანა ადრესატისათვის ნებისმიერი მიმართულებით, ესე იგი უზრუნველყოფილი აღმოჩნდეს ქსელის ბმულობა რეტრანსლაციის გათვალისწინებით. ეს ამოცანა მოცემულ ნაშრომში მრავალი გზით წყდება, სახელდობრ: მოდელირებით და კვანძების რადიოხილვადობის შეფასებებით ქსელის ტრანსფორმაციისას, რეკომენდაციების დამუშავებით ქსელის სამართავად და მომსახურების ხარისხის უზრუნველყოფად (QoS, Quality of Service).

კვლევის მიზანი და ამოცანები. მოცემული სამუშაოს მიზანს წარადგენს ეფექტური მარშრუტიზაციის მიღწევა ეპიზოდურ ქსელებში. ამ მიზნის მისაღწევად აუცილებელია შემდეგი ამოცანების გადაჭრა:

- მობილურ ეპიზოდურ ქსელებში მოთხოვნადი მარშრუტიზაციის ოქმის შესწავლა და მთელი რიგი ოპტიმიზაციების გაკეთება;

- მარშრუტიზაციის ქემის შესწავლა, მისი საჭიროების განსაზღვრა, ქემირების ეფექტის ხარისხის შეფასება და მისი მოდიფიკაცია;
- ეპიზოდურ ქსელში მარშრუტიზაციის ეფექტური ალგორითმის დამუშავება თვითადაპტაციისა და თვითკონფიგურირების ელემენტებით კვანძების არაპროგნოზირებადი მობილურობის პირობებში, DSR ალგორითმის ოპტიმიზაცია ეფექტური მუშაობისთვის;
- მოდელირებისა და ექსპერიმენტული კვლევების გზით შემოთავაზებული ალგორითმული გადაწყვეტილებების მაღალი მახასიათებლებისა და განხორციელებადობის დამტკიცება.

კვლევის საგანი. სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის საგანს წარმოადგენს უსადენო მობილური (ეპიზოდური) კავშირგაბმულობის ქსელების სხვადასხვა ვარიანტი, ამ ქსელებში მარშრუტიზაციის ალგორითმები, DSR ალგორითმის შესწავლა და მისი ოპტიმიზაცია ისეთი გარემოსთვის როდესაც კვანძების გადაადგილება არის ხშირი.

კვლევის მეცნიერული სიახლე. ნაშრომში მიღებული შედეგების მეცნიერული სიახლე ვლინდება როგორც მეთოდურ, ასევე გამოყენებით ასპექტებში. სახელდობრ:

1. დამუშავებულია მობილური ეპიზოდური (Ad hoc) ქსელების მარშრუტიზაცია DSR ოქმით, რომელიც ოთხ ძირითად ეტაპს მოიცავს:
 ა) კვანძების გადაადგილებათა მოდელირება მობილურობის შერჩეული მოდელის საფუძველზე, ბ) პაკეტების გავრცელების მეთოდების განსაზღვრა
 გ) მარშრუტიზაციის ქემირების ოპტიმიზაცია მაღალი წარმადობისათვის
 დ) მარშრუტიზაციის დაყოვნებასთან დაკავშირებული ამოცანების გადაჭრა

2. შემოთავაზებულია Ad hoc (ეპიზოდური) ქსელებისათვის მარშრუტიზაციის გაუმჯობესებული ვარიანტი - მარშრუტიზაციის თვითადაპტირებადი ალგორითმი, რომლის თავისეურობებს მიეკუთვნება:
 ა) ქსელში მმართველი სიგნალების ნაკადის სიჭარბის შემცირება მარშრუტის არჩევის (გაგრძელების) გადაცემით რეტრანსლაციის ყველა კვანძისათვის;
 ბ) ქსელის სწრაფი ადაპტაცია და თვითადაგენა ალტერნატიულ მარშრუტზე

გადასვლის ხარჯზე რეტრანსლაციის აქტიური კვანძების დამიანებისას. მოდელირებით NS2 ქსელურ სიმულატორზე დამტკიცებულია, რომ შემოთავაზებულ ალგორითმს პარამეტრთა ერთობლიობის თვალსაზრისით უკეთესი მახასიათებლები აქვს ცნობილ ალგორითმებთან შედარებით.

3. შესწავლილია მოდელი კავშირის დამყარების დროის შესაფასებლად «ორწერტილიანი» (point-to-point) და რეტრანსლატორიანი რეჟიმებისათვის.

4. შესწავლილია მობილურობის სხვადასხვა მოდელი კავშირის Ad hoc (ეპიზოდური) ქსელებისათვის და ჩატარებულია მათი ქსელური მახასიათებლების შედარებითი ანალიზი.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებული მეთოდები, მოდელები და რეკომენდაციები ტექნიკურ გადაწყვეტილებებთან დაკავშირებით ეპიზოდური ქსელების მახასიათებლების გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა ქსელური თანამოქმედების მონაწილეთა უცნობი განლაგების პირობებში. ნაშრომის შედეგების გამოყენება შესაძლებელია ქვეითი და საბორტო მობილური აბონენტების მიერ შედგენილი ეპიზოდური ქსელებისათვის.

ასევე შესაძლებელია მიღებული შედეგების გამოყენება სასწავლო პროცესში ლექციათა კურსების წაკითხვის და საკურსი, საბაკალავრო და სამაგისტრო საშუალოთა შესრულების დროს.

ძირითადი სამეცნიერო მტკიცებულებათა სანდოობა. სადისერტაციო ნაშრომში წამოყენებული ძირითადი სამეცნიერო მტკიცებულებების და გაკეთებული დასკვნების სანდოობა უზრუნველყოფილია იმით, რომ:

- ყველა შედეგი მიღებულია იმ დაშვებებისა და მეთოდების საფუძველზე, რომლებიც დღეს ჩათვლილია სამართლიანად;

- მიღებული თეორიული დასკვნები შედარებულია როგორც მანქანური, ასევე ლაბორატორიული ექპერიმენტების შედეგებთან.

ნაშრომის აპრობაცია. დისერტაციის ცალკეული შედეგები მოსმენილ იქნა სხვადასხვა სემინარსა და კონფერენციაზე. მათ შორისაა:

- საერთაშორისო კონფერენცია «ინფორმაციული და გამოთვლითი

ტექნოლოგიები», მიძღვნილი იმფორმატიკის ქართული სამეცნიერო სკოლის თვალსაჩინო წარმომადგენლების, პროფესორების ელენე დეკანოსიძის და მურმან წულაძის ხსნოვნისადმი (საქართველო, თბილისი, 2-6 მაისი, 2010 წელი), ნიკო მუსხელიშვილის გამოთვლითი მათემატიკის ინსტიტუტი, საქართველოს საპატრიარქოს წმიდა ანდრია პირველწოდებულის სახელობის ქართული უნივერსიტეტი;

- აკადემიკოს ი. ფრანგიშვილის დაბადების 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია «საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა» (საქართველო, თბილისი, 1-4 ნოემბერი, 2010 წელი);

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დაარსებიდან 90 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია «21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები» (საქართველო, თბილისი, 19-21 სექტემბერი, 2012 წელი).

მთლიანობაში დისერტაციის განხილვა მოხდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის კომპიუტერული ინჟინერიის, ასევე კომპიუტერული ქსელებისა და სისტემების მიმართულებათა სემინარებზე.

პუბლიკაციები. სადისერტაციო ნაშრომში გადმოცემული ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შრომებში [139-142].

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შეიცავს: შესავალს, ოთხ თავს და დასკვნას. მისი მოცულობა 114 გვერდს შეადგენს, მათ შორისაა 22 ნახაზი, 9 ცხრილი და 142 დასახელების გამოყენებული წყაროების სია 15 გვერდზე.

დაცვაზე გამოტანილი დებულებები. დაცვაზე გამოიტანება:

- Ad hoc ქსელებისათვის მარშრუტიზაციის პროტოკოლების შედარებითი ანალიზის შედეგები, რომლებიც საქსელო მახასიათებლებს შეეხება;

-DSR ალგორითმის ოპტიმიზაციის მეთოდები, რაც მოიცავს: მარშრუტების ქეშირება, მარშრუტების დაყოვნება, მარშრუტების გავრცელება.

I ლიტერატურის მიმოხილვა

კომპიუტერული ქსელების განვითარების თანამედროვე ეტაპის დამახასიათებელ ტენდენციას წარმოადგენს უსადენო კავშირგაბმულობის საშუალებათა ინტენსიური დანერგვა. ელექტრონული ხელსაწყოები თანდათანობით მცირდება ზომებით, იაფდება და ენერგიას სულ უფრო ნაკლები რაოდენობით მოიხმარს. ამასთან ერთად მოწყობილობათა უმრავლესობა აღიჭურვება ერთი ან რამდენიმე რადიოგადამცემით, რაც ინფორმაციის გაცვლის საშუალებას ქმნის მობილურ და პორტატიულ მოწყობილობებს შორის. აღსანიშნავია აგრეთვე გამოთვლითი შესაძლებლობების ზრდაც: ყველაზე იაფფასიან მინიატურულ მოწყობილობეც კი შეიძლება გააჩნდეს სურსები, რომლებიც საკმარისია ამოცანათა ფართო კლასის გადასაჭრელად.

ტექნოლოგიათა განვითარების მიღწევები უკვე თანამედროვე ეტაპზე იძლევა ისეთი უსადენო Ad hoc ქსელების შექმნისა და განვითარების საშუალებას, რომლებიც შეიცავს ათასობით იაფფასიან მინიატურულ მოწყობილობებს. ასეთი ქსელები რიგ პრინციპულად ახალ შესაძლებლობას იძლევა [134]. სადენიანი ქსელებისა და სისტემებისაგან განსხვავებით, უსადენო Ad hoc ქსელებს ისეთი ტვისებები გააჩნია, როგორცაა მობილურობა, შემადგენელი ელემენტების ავტონომიურობა, ცენტრალიზებული მართვის აუცილებლობის არარსებობა [135]. ამავე დროს პრაქტიკულად არ შეინიშნება უსადენო ქსელების ფუნქციური შესაძლებლობების შემცირება სადენიანებთან შედარებით. ამრიგად, უსადენო Ad hoc ქსელები მრავალი ამოცანის ეფექტურად გადაჭრის საშუალებას იძლევა. მათ რიცხვშია როგორც ზოგადი დანიშნულების მონაცემთა გადაცემა, ასევე სპეციალური დანიშნულების სისტემათა შემადგენლობაში მუშაობა. მაგალითად, უსადენო სენსორული ქსელები გარკვეული სისტემის ფიზიკური პარამეტრების დღეღამურად, რეალური დროის რეჟიმში, თვალთვალის საშუალებას იძლევა. შეიძლება გამოვყოთ კიდევ უსადენო ქსელების შემდეგი ძირითადი უპირატესობები სხვა მიდგომებთან

შედარებით, რომლებიც ანალოგიური ამოცანების გადასასაწყვეტად გამოიყენება [136]: დაბალი ღირებულება. ელექტრონული მოწყობილობების მასობრივი წარმოება მნიშვნელოვნად იაფია ანალოგიური ამოცანის გადამწყვეტი მრავალკომპონენტის კომპლექსის წარმოებაზე, დაყენებასა და გამართვაზე. აგების სისწრაფე. როგორ კი დასრულდება ყველა მოწყობილობის განთავსება და ჩართვა, უსადენო ქსელი მზადაა ფუნქციონირებისათვის.

მაღალი ეფექტურობა. მოწყობილობათა დიდი რაოდენობის ერთდროულად გამოყენების შესაძლებლობის გამო უსადენო ქსელი პრაქტიკულად ნებისმიერი ამოცანის გადაწყვეტის მაღალ ეფექტურობას უზრუნველყოფს, განსაკუთრებით ისეთი ამოცანების, როგორცაა მონაცემთა მოგროვება და მონიტორინგი.

ამრიგად, რიგ შემთხვევაში უსადენო Ad hoc ქსელის მოწყობა ეკონომიკის თვალსაზრისით უფრო მომგებიანია, ვიდრე იმავე მიზნებისათვის სხვა საშუალებათა გამოყენება. ხოლო გამომთვლელი ტექნიკის წარმოების პროგრესი ცალსახად აყალიბებს უსადენო ქსელებს საინფორმაციო ტექნოლოგიათა განვითარების პერსპექტიულ მიმართულებად.

უსადენო Ad hoc ქსელებს, როგორც გამომთვლელი ქსელების ახალ კლასს, გააჩნია რიგი თავისებურებისა, რომლებიც ბადებს გარკვეულ პრობლემებს მათი დაპროექტების, დამონტაჟებისა და ექსპლუატაციის ეტაპზე [137]. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს მოწყობილობათა დიდი (ათ ათასზე მეტი) რიცხვი (რაც კლასიკური წრედებისათვის არ არის დამახასიათებელი), მონაცემთა გადაცემის ერთიანი გარემო, ცენტრალიზებული მართვის არარსებობა [138]. ასეთი ქსელების მეორე მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს მოწყობილობათა შესაძლო მობილურობა, ხოლო ამ მოწყობილობათა დიდი რაოდენობისა და გარეშე ფაქტორთა ზემოქმედების გამო, შეიძლება ვილაპარაკოთ უსადენო ქსელების დაბალ მტყუნებაგამძლეობაზე (მტყუნებამედეგობაზე). ამრიგად, უსადენო ქსელი უნდა იყოს თვითორგანიზებადი და მას ასევე უნდა გააჩნდეს მარშრუტიზაციის სპეციალიზებული პროტოკოლები (დანაწესები).

უსადენო ქსელებისათვის პროტოკოლების დამუშავების პრობლემატიკაში სერიოზული წვლილის შემტან სამეცნიერო სკოლათა რიცხვში მრავალი კვლევითი ცენტრი უნდა დასახელდეს. მათ შორის განსაკუთრებით უნდა გამოვეყნოთ MANET (Mobile Ad-hoc Networks) ჯგუფი, რომელიც IETF (Internet Engineering Task Force) ორგანიზაციასთან ფუნქციონირებს. ამ ჯგუფის მუშაობის მთავარი მიზანია უსადენო ქსელებისთვის შესაფერი მარშრუტიზაციის IP პროტოკოლების ფუნქციური შესაძლებლობების სტანდარტიზაცია. ამასთან ერთად, მხედველობაში მიიღება როგორც სტატიკური, ასევე დინამიკური ტოპოლოგიები დიდი ცვალებადობით, რომელიც დაკავშირებულია მოწყობილობათა მობილურობასთან და სხვა ფაქტორებთანაც.

კალიფორნიის უნივერსიტეტი ჩატარებულია რთული ტოპოლოგიის მქონე ქსელების კვლევები.

კარნეგი-მელონ უნივერსიტეტში შესწავლილია მარშრუტიზაციის პროტოკოლების თავისებურებები სპეციალური უსადენო ქსელებისათვის.

პროფესორ მ.ა. ბონჩ-ბრუევიჩის სახელობის სანქტ-პეტერბურგის ტელეკომუნიკაციათა უნივერსიტეტში ჩატარებული ინტელექტუალური ინფრასტრუქტურის მქონე სენსორული ქსელების კვლევები.

რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის ვ.ა. კოტელნიკოვის სახელობის რადიოტექნიკისა და ელექტრონიკის ინსტიტუტში (ქ. მოსკოვი) ხორციელდება სამუშაოები, რომლებიც მიზნად ისახავს ელექტრონული კომპონენტების შექმნას უსადენო სენსორული ქსელებისათვის.

ნ.ი. ლობაჩევსკის სახელობის ნიჟნი ნოვგოროდის სახელმწიფო უნივერსიტეტში უსადენო ქსელებისათვის მუშავდება ინფორმაციის გადაცემის ახალი ხერხები, რომლებიც არსებითად იყენებს მონაცემთა გადაცემის გარემოს თვისებებს.

პალერმოს უნივერსიტეტში უსადენო რადიოარხებისათვის ტარდება საინტერესო კვლევები მონაცემთა გადაცემის ფიზიკურ და საარხო დონეთა მუშაობის ეფექტურობის შესასწავლად.

ამ სფეროს ამოცანათა გადაჭრის თეორიული და პრაქტიკული ასპექტები განხილულია მრავალი მეცნიერის მიერ. ესენია: J. R. Agre, L. P. Clare, G. J. Potty, N. P. Romanov, F. Barcelo, P. Barford, M. Crovella, B. Bellata, M. Oliver, D. Rincon, B. Bellur, R. G. Ogier, V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenkar, L. Zhang, Giuseppe Bianchi, A. Biernacki, P. T. Brady, J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, J. Jetcheva, P. Calyam, M. Sridharan, W. Mandrawa, P. Schopis, Ching-Chuan Chiang, Mario Gerla, M. S. Corson, A. Ephremides, J. H. Cowie, D. M. Nicol, A. T. Ogielski, E. Crawley, T. D. Dang, B. Sonkoly, S. Molnor, S. R. Das, Charles E. Perkins, E. M. Royer, R. Castaneda, J. Yan, C. Florens, R. McEliece, Fouad A. Tobagi, Leonard Kleinrock, H. Frystyk, Jack Tzu-Chieh Tsai, P. Gupta, P. R. Kumar, Xiaoyan Hong, Kaixin Xu, G. Pei, Z. J. Haas, M. R. Pearlman, H. Hsiung, M. J. Fischer, Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang, R. Iyer, P. Jacquet, P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek, M. Degermark, Rajesh Krishnan, Jinyang Li, Charles Blake, Douglas S. J. De Couto, Hu Imm Lee, Robert Morris, J. Liu, V. Markovski, V. D. Park, M. S. Corson, T.-W. Chen, Pravin Bhagwat, E M. Royer, Romer Kay, Friedemann Mattern, C. K. Toh, Cesar A. Santivanez, Ram Ramanathan, Ioannis Stavrakakis და მრავალი სხვა.

ძირითადი პრობლემები უსადენო ქსელების დაპროექტებისას დაკავშირებულია იაფფასიანი მცირეგაბარიტიანი მოწყობილობების შეზღუდულ რესურსებთან, შედარებით დიდი ქსელის სწრაფად ცვალებად ტოპოლოგიასთან, კავშირგაბმულობის უსადენო არხების დაბალ საიმედოობასთან. ამ სიძნელეთა გადასალახავად უსადენო ქსელების მრავალი კვლევაა ჩატარებული [1 - 138]. მათ შორის უნდა გამოვყოთ კალიფორნიის უნივერსიტეტის მკვლევართა ნაშრომები, მაგალითად, ჩინგ-ჩუან ჩანგის (Ching-Chuan Chiang) - კავშირგაბმულობის უსადენო არხების ფიზიკური თვისებებისა და მათთან დაკავშირებული მარშრუტიზაციის პროტოკოლების თავისებურებათა შესახებ, მარო გერლას (Mario Gerla) - განაწილებული სისტემების დაპროექტების, შეფასებისა და კონტროლის თაობაზე, ჯეკ ცზუ-ეხი ცზაის (Jack Tzu-Chieh Tsai) - უსადენო სისტემებისათვის ქსელური პროტოკოლების დაპროექტებაზე. სხვადასხვა სამეცნიერო სკოლების მიერ

ჩატარებულია უსადენო ქსელების კლასიფიკაცია და დამუშავებულია მარშრუტიზაციის პროტოკოლების მთელი სპექტრი ამ ქსელების სხვადასხვა ტიპისათვის [55].

დღეისათვის ჩატარებულ კვლევათა ნაკლულევანებას (ზადს, ნაკლს) წარმოადგენს მარშრუტიზაციის პროტოკოლების შეფასებისა და შედარების საშუალებათა არარსებობა. პროტოკოლების ამჟამად მიღებული კლასიფიკაცია კონკრეტულ გადაწყვეტილებათა გამოყენების მიზანშეწონილობის შეფასების საშუალებას არ იძლევა ამა თუ იმ შემთხვევაში. ამიტომ არსებობს უსადენო Ad hoc ქსელებისათვის მარშრუტიზაციის არსებული და შესაქმნელი პროტოკოლების შეფასებისა და შედარების მეთოდის შექმნის მწვავე აუცილებლობა.

II შედეგები და მათი განსჯა

თავი 1

მობილური Ad hoc ქსელების მიმოხილვა

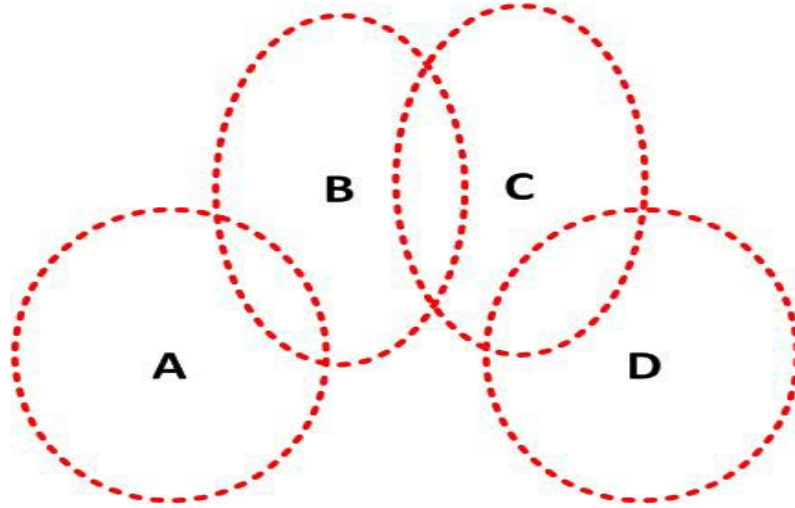
§ 1.1 შესავალი

21 საუკუნე ცნობილია როგორც ტექნოლოგიების ერა, შესაბამისად ძირითად საკომუნიკაციო და ინფორმაციის გასაცვლელ საშუალებად სწორედ ციფრული ტექნოლოგიები გვევლინება. დღესდღეობით მრავლადაა მოხმარებაში სმარტფონები, პლანშეტები და სხვა რადიო მოწყობილობები. მომავალში მოსალოდნელია რომ მათი გამოყენება კიდევ უფრო ხშირი გახდეს, რაც განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს. უსადენო ქსელების უმრავლესობა, იქნება ეს კერძო Wifi თუ მობილური ოპერატორის (მაგ. მაგთი, ჯეოსელი) ქსელი, ერთი კონცეპციით ხელმძღვანელობს. კერძოდ, ქსელის ყოველი მომხმარებელი უნდა დაუკავშირდეს ინფრასტრუქტურის ცენტრალურ სისტემას, რომელიც არის პასუხისმგებელი მის მომსახურებაზე. ჩვენი ხედვა მდგომარეობს შემდეგში, მოვახდინოთ მაღალი წარმადობის ქსელის აწყობა, სადაც ქსელის ყოველი მომხმარებელი შეასრულებს როგორც მიმღების/გადამცემის, ასევე რეტრანსლატორის როლს. ასეთ ქსელებს ჩვენ ვუწოდებთ ეპიზოდურ ანუ Ad hoc ქსელებს.

ჩვეულებრივ ეპიზოდურ ქსელში მობილური კვანძები დროის რაღაც პერიოდში ცვლიან ინფორმაციას. ინფორმაციის გაცვლისას კვანძები აგრძელებენ მოძრაობას, ასე რომ ქსელი უნდა იყოს მომზადებული ცვლილების დამუშავებისთვის. არსებული ქსელის კვანძები მუდმივად მოძრაობენ და გადაადგილდებიან შემთხვევითობის პრინციპით, ამიტომ თვითორგანიზებადი ქსელი და მისი მომსახურე მარშრუტიზაციის ალგორითმი მომზადებული უნდა იყოს ასეთი გარემოებისთვის.

ტრადიციულ სცენარში კვანძებს შეუძლიათ პირდაპირ ერთმანეთთან კავშირი როდესაც ისინი არიან ერთსადაიმავ რადიოგადაცემის ზონაში, მაგრამ

ეპიზოდურ ქსელებში კვანძებმა ასევე უნდა დაამყარონ კავშირი ისეთ კვანძებთან რომლებიც არ არიან მისი დაფარვის ზონაში, რაშიც უნდა გამოიყენონ მეზობელი კვანძები. მაგალითად ნახაზ 1.1-ში კვანძი A რომ დაუკავშირდეს კვანძ D-ს, მან უნდა გამოიყენოს შუამავალი B და C კვანძები.



ნახაზი 1.1 კავშირი კვანძებს შორის (A-D)

უსადენო კომუნიკაცია და მოძრაობა განარჩევს ეპიზოდურ ქსელს ტრადიციულ საკაბელო ქსელისაგან. ასეთი მოცემულობის სპეციფიკაცია მოითხოვს მარშრუტიზაციის ისეთ ალგორითმებს, რომლებიც სხვა პრინციპებზეა დამყარებული. მარშრუტიზაციის ალგორითმებს, რომლებიც გამოიყენება ტრადიციულ საკაბელო ქსელებში, შეუძლიათ ძალიან დიდი რაოდენობის კვანძების და მარშრუტების მხარდაჭერა, მაგრამ ისინი ითვალისწინებენ იმ ფაქტორს, რომ ყოველი კვანძის პოზიცია არის უცვლელი. ეპიზოდურ ქსელში შეიძლება იყოს ცოტა კვანძი, რომლებშიც იქნება მარშრუტის საჭიროება, მაგრამ ქსელის ტოპოლოგიის ცვლილება იქნება ხშირი.

ჩემი თეზისი მდგომარეობს შემდეგში:

ეფექტური მარშრუტიზაცია ეპიზოდურ ქსელებში მოითხოვს, რომ მარშრუტიზაციის ალგორითმმა იმუშაოს მოთხოვნის პრინციპით და ასევე გაუკეთოს ლიმიტი კვანძების რაოდენობას რომლებიც უნდა იყვნენ ინფორმირებული ტოპოლოგიის ცვლილებით. ეპიზოდური ქსელი შეიძლება აიგოს ასეთ ალგორითმზე დაყრდნობით და ის იმუშავებს კარგად.

§1.2 პროაქტიული და რეაქტიული მარშრუტიზაცია

ეპიზოდურ ქსელებში არსებობს ორი ტიპის მარშრუტიზაცია, ესენია: პროაქტიული და რეაქტიული. პროაქტიული მარშრუტიზაციისას ყოველი კვანძი ინახავს ამჟამინდელ მარშრუტიზაციის ინფორმაციას, ასეთი მარშრუტიზაციის შემთხვევაში კვანძები პერიოდულად ცვლიან მარშრუტიზაციის ცხრილებს.

რეაქტიული მარშრუტიზაციის შემთხვევაში მარშრუტიზაცია ჩნდება მაშინ, როდესაც ხდება მისი მოთხოვნა. ასეთი ტიპის მარშრუტიზაციისას არ ხდება პერიოდულად მარშრუტიზაციის ინფორმაციების გაგზავნა.

პროაქტიული მარშრუტიზაციის ნაკლოვანებაა ის რომ მარშრუტის მომსახურებას ქსელის დიდი რესურსი მიაქვს, აგრეთვე იგი ნაკლებადმდგრადია ქსელის ჩავარდნების დროს.

რეაქტიული მარშრუტიზაციის შემთხვევაში მარშრუტები ჩნდება მოთხოვნისამებრ, შესაბამისად ასეთ ქსელებს უფრო მეტი დაყოვნება ახასიათებთ პროაქტიულ მარშრუტიზაციასთან შედარებით. სამაგიეროდ გაცილებით ნაკლები რესურსი იხარჯება მარშრუტის მომსახურებისას და მას ახასიათებს მდგრადობა ხშირი ქსელური ჩავარდნების შემთხვევაში.

§1.3 მარშრუტიზაციის ალგორითმის პირობები

ეპიზოდური ქსელების წარმატებული ფუნქციონირებისთვის მე ვეფუძნები ორ ძირითად პირობას მარშრუტიზაციის ალგორითმის მიმართ. პირველი, ის უნდა იყოს მოთხოვნაზე დამოკიდებული, რაც ნიშნავს რომ ცვლილება ხდება მარტო მაშინ როდესაც არის ამის საჭიროება. მეორე, მარშრუტიზაციის ალგორითმა უნდა გააკეთოს შეზღუდვა იმ კვანძებისა რომლებმაც უნდა შეიტყვეონ ინფორმაცია ცვლილების შესახებ.

მე მოვახერხე აღნიშნული მოთხოვნების რეალიზაცია DSR ალგორითმში. ნაშრომში წარმოდგენილია რომ DSR ალგორითმის მოდიფიკაციით შეგვიძლია

მივიღოთ ოპტიმალური და ხარისხიანი კავშირი უსადენო ეპიზოდურ ქსელებში. ანალიზი არის გაკეთებული DSR ოქმის თითოეული კომპონენტისთვის და გამოსახულია რა ცვლილებების და ფუნქციების გამოყენებით ვიღებთ სასურველ შედეგებს. შედეგები არის რეალურ სიმულაციაზე დაყრდნობით და მე მას შემდგომ ავლწერ ნაშრომში.

§1.4 მარშრუტიზაცია DSR ქსელებში

ძირითადი პრობლემა მარშრუტიზაციის ად-ჰოკ ქსელებში არის ის რომ თითოეულ კვანძს უნდა შეეძლოს ადვილად მონახოს მიმდევრობა იმ შუალედური კვანძებისა, რომელთა დახმარებითაც პაკეტი მიაღწევს დანიშნულების ადგილს. ტრადიციულ მარშრუტიზაციაში ეს პრობლემა გადაჭრილი არის: ყოველ კვანძს გააჩნია მარშრუტიზაცია დანიშნულების ადგილამდე საკუთარ მარშრუტიზაციის ცხრილში, შესაბამისად კვანძმა იცის თუ რომელ კვანძს გადასცეს პაკეტი განსაზღვრული დანიშნულების ადგილისთვის.

მარშრუტიზაციის ცხრილი გვაძლევს საშუალებას რომ გვქონდეს სრული ხედვა მთლიანი ქსელის ტოპოლოგიის. მარშრუტიზაციის ალგორითმის მიზანი არის რომ უზრუნველყოს თითოეულ კვანძზე სწორი მარშრუტიზაციის ინფორმაციის არსებობა. არასწორი მარშრუტიზაციის შედეგად პირველ რიგში, შეიძლება წარმოიქმნას მარშრუტიზაციის მარყუჟები, მეორე რიგში გამოიწვიოს პაკეტების დაკარგვა.

ყოველ კვანძზე ერთნაირი და სწორი მარშრუტის ქონა განსაკუთრებულ პრობლემად იქცევა როდესაც მატულობს კვანძების რაოდენობა და ქსელის ტოპოლოგია მუდმივად იცვლება. შემუშავებული ალგორითმი შეგუებადი უნდა იყოს ეპიზოდური ქსელების ყოველ მახასიათებელთან. მარშრუტიზაციის ოქმმა უნდა მოახერხოს ყველა წინაპირობის გათვალისწინება, რაც კი გვხვდება ასეთ ქსელებში.

მარშრუტიზაციის პროტოკოლები, ისეთები როგორებიცაა პროაქტიული ალგორითმები, მოიცავენ პერიოდულობის მახასიათებელს, რაც გულისხმობს იმას, რომ კვანძებმა პერიოდულად უნდა გადაუგზავნონ ერთმანეთს მარშრუტიზაციის ცხრილები. ეს პერიოდული მახასიათებელი ზღუდავს მარშრუტიზაციის შესაძლებლობას რომ ადვილად შეეგუოს დინამიურობას. იმ შემთხვევაში თუ განახლების ინტერვალს დავაყენებთ პატარას, ის იქნება არაეფექტური, რადგანაც გვექნება მუდმივი გადაცემა მარშრუტიზაციის საკონტროლო პაკეტების, რაც გამოიწვევს არსებული რესურსების უსარგებლოდ დახარჯვას. თუ განახლების ინტერვალს დავაყენებთ დიდს, მაშინ პროტოკოლი ვერ მოახერხებს სწრაფად უპასუხოს ტოპოლოგიის ცვლილებას და მოხდება პაკეტების დაკარგვა.

აღნიშნული მახასიათებლის ალტერნატივა არის მოთხოვნისამებრ ფუნქცია. ასეთი თვისებები ახასიათებთ რეაქტიულ პროტოკოლებს. მოთხოვნისამებრ პროტოკოლები მხოლოდ უშუალოდ გადაცემისას აღმოაჩენენ მარშრუტიზაციის პრობლემას და მყისიერად ასწორებენ მას. DSR ალგორითმი მთლიანად უგულვებელყოფს განახლებების მახასიათებელს და გამოიყენებს წყაროს მარშრუტიზაციას, რათა გადაჭრას ყოველი შეუსაბამო პრობლემა.

პირველ რიგში DSR ალგორითმი არის მთლიანად დამყარებული მოთხოვნაზე, რაც საშუალებას იძლევა რომ მაქსიმალურად ეფექტურად გამოვიყენოთ მარშრუტიზაციასთან დაკავშირებული ქსელის რესურსები. ეს მახასიათებელი მნიშვნელოვნად ამცირებს პროტოკოლის ზედნადებს, რადგან აღარ არის საჭირო მარშრუტიზაციის ცხრილების მუდმივი განახლება ქსელში.

მეორეც DSR იყენებს წყაროზე დამოკიდებულ მარშრუტიზაციას, რათა აკონტროლოს პაკეტების გადაცემა ქსელში. მთავარი უპირატესობა ამ მეთოდისა არის ის, რომ საშუამავლო კვანძებს არ სჭირდებათ შეინახონ მუდმივად მარშრუტიზაციის ინფორმაცია, იმიტომ რომ პაკეტები თვითონ მოიცავენ ამ ინფორმაციას. გარდა ამისა, ყოველი პაკეტი რომელიც ატარებს წყაროს მარშრუტს სწავლობს გზას არსებული ქსელის გავლით. ასე რომ, ყოველი

შუამავალი კვანძი რესურსის დახარჯვის გარეშე ავტომატურად იღებს მარშრუტებს ყველა კვანძისკენ რაც კი ჩაწერილი არის მოსულ პაკეტში.

ასეთი ფუნქციონირების მექანიზმი რეალიზებული არის DSR-ში, რათა გავაუმჯობესოთ ქსელის ხარისხი. მაგარამ ასეთ მახასიათებელს გააჩნია თავისი ნაკლებიც. იმ პირობით, რომ მარშრუტიზაციის ინფორმაციის მოთხოვნა მხოლოდ მაშინ ხდება, როდესაც კვანძს სჭირდება რომ გადასცეს პაკეტი, ასეთი მარშრუტის პოვნა მოითხოვს უფრო მეტ დროს, რადგანაც მარშრუტი არ არის წინასწარ გამოთვლილი და არ არსებობს მის შესახებ ინფორმაცია მარშრუტიზაციის ცხრილში. ეს თავისთავად ნიშნავს იმას, რომ პაკეტი შეიძლება შენელებდეს ან დაიკარგოს როდესაც ქსელი შეეცდება მის გადაცემას. შემდგომში ჩვენ დეტალურად განვიხილავთ ასეთი ტიპის პრობლემებს და ვაჩვენებთ თუ რა მეთოდები გააჩნია DSR ალგორითმს რომ თავიდან აიცილოს აღნიშნული პრობლემები.

§1.5 თავის მოკე შინაარსი

დღესდღეობით თითქმის ყოველ მომხმარებელს გააჩნია უსადენო გადაცემის ფუნქციის მქონე მოწყობილობა და ინტერესი აღნიშნული ტექნოლოგიის მიმართ საკმაოდ დიდია. უმეტესი ძალისხმევა დღესდღეობით დაყრდნობილია ერთრანგიან კავშირზე, DSR ოქმი საშუალებას იძლევა რომ მივიღოთ მარშრუტიზაციის ღირებული გადაწყვეტა მრავალრანგინაგ უსადენო ქსელებში.

ეპიზოდურ ქსელებში ძირითადად გამოიყენება ორი ტიპის მარშრუტიზაცია: ესენია პროაქტიული და რეაქტიული. რეაქტიული მარშრუტიზაცია არ აკეთებს მარშრუტიზაციის ცხრილების პერიოდულ განახლებებს და იგი მეტად მდგრადია მაღალი მობილურობის მქონე ქსელებში. DSR ოქმის მოდიფიკაცია საშუალებას გვაძლევს, რომ იგი მოერგოს ეპიზოდური ქსელების მრავალფეროვან გარემოებებს.

თავი 2

მარშრუტიზაციის DSR პროტოკოლი უსადენო ქსელებისათვის

§2.1 DSR-ის მიმოხილვა

ამ თავში აღწერილი იქნება DSR პროტოკოლის ფუნქციონირება. ოქმის მუშაობა გარჩეული იქნება იმ დონეზე რომ მკითხველმა მარტივად გაიგოს DSR ოქმის ანალიზი შემდგომ თავებში.

DSR წარმოადგენს განვითარებად ოქმს, რაც ჩვენი ექსპერიმენტების შედეგებით შეგვიძლია დავიმოწმოთ. დინამიური წყაროს მარშრუტიზაციის ოქმი ეყრდნობა წყაროზე დამოკიდებულ მარშრუტიზაციას, რაც ნიშნავს რომ თითოეული პაკეტის მომთხოვნი განაპირობებს იმ კვანძების მიმდევრობას რომელიც პაკეტმა უნდა გაიაროს რომ მივიდეს დანიშნულების კვანძამდე.

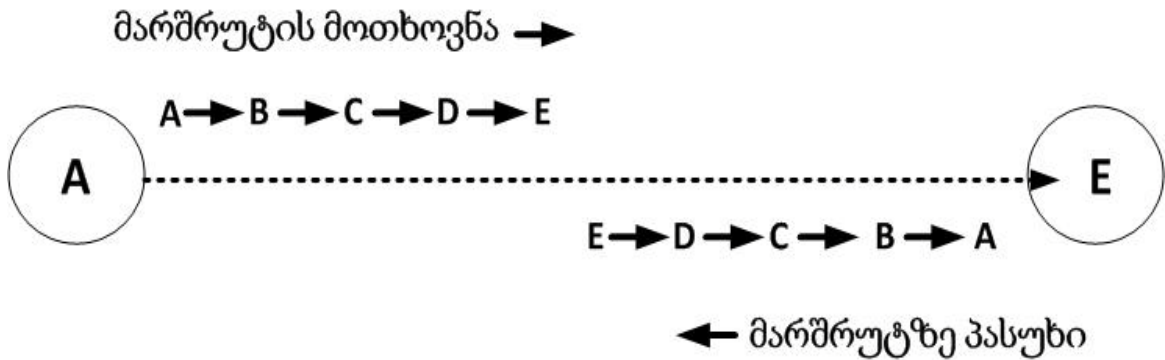
მთავარი უპირატესობა წყაროს მიერ მოთხოვნად მარშრუტიზაციაში არის ის რომ შუამავალ კვანძებს არ სჭირდებათ რომ შეინახონ განახლებული მარშრუტიზაციის ინფორმაცია რათა მოახდინონ მარშრუტირება პაკეტების. ეს გამომდინარეობს იქიდან რომ პაკეტს თავისთავად აქვს განსაზღვრული თავისი გზა. ესეთი მეთოდის შემთხვევაში არ გვესაჭიროება გადაცემა პერიოდული განახლებების.

DSR ოქმი შედგება ორი საბაზო მექანიზმისგან : მარშრუტის ძიება და მარშრუტის მომსახურება. მარშრუტის შესწავლა არის მექანიზმი რომელიც ამბობს რომ თუკი კვანძი A ცდილობს რომ გაუგზავნოს პაკეტი კვანძ E-ს იგი თავად პოულობს გზას E-სკენ. იმისათვის რომ ყოველი ახალი მარშრუტის მოთხოვნის დროს არ მოხდეს დანიშნულების შესწავლის მთლიანი პროცედურის გავლა თითოეული კვანძს გააჩნია მარშრუტის ქეში წყაროს მარშრუტებისა რომლებიც მან ისწავლა ან გაიგონა.

მარშრუტის მომსახურება ეს არის მექანიზმი მარშრუტის შემოწმებისა. როდესაც წყარო A მიხვდება რომ ტოპოლოგია შეიცვალა და მას ვეღარ შეუძლია თავისი მარშრუტის გამოყენება დანიშნულებისადმი E იმიტომ რომ გზაში მყოფი კვანძები გავიდნდნენ კომუნიკაციის საზღვრიდან, მაშინ კვანძი

შეცდება მოიძიოს ახალი გზა.

ნახაზ 2.1 -ზე ნაჩვენებია DSR ფუნქციონირება



ნახაზი 2.1 DSR ოქმის ფუნქციონირება

§2.2 წყაროს მარშრუტიზაცია

მარშრუტებს რომელსაც DSR ოქმი პოულობს და იყენებს არის წყაროს მარშრუტები. რაც ნიშნავს იმას რომ, გამგზავნი თვითონ პოულობს მთლიან გზას დანიშნულებამდე. წყაროდან გაგზავნილი პაკეტი თავსართში მოიცავს ყოველი კვანძის სიას და მიმდევრობას თუ როგორ მივიდეს დანიშნულებამდე. აღსანიშნავია ის რომ შუამავალ კვანძებს არ ჭირდებათ რომ ჰქონდეთ მიმდინარე მარშრუტიაციის ინფორმაციები პაკეტის მარშრუტიზაციისათვის, რადგანაც მოსული პაკეტი თვითონვე შეიცავს ამ ინფორმაციას.

მარშრუტიზაციის პროტოკოლის წყაროზე დაფუძნებას აქვს კიდევ 2 გამორჩეული უპირატესობა. პირველ რიგში ჩვენ შეგვიძლია ჩავთვალოთ რომ ასეთ მარშრუტებში არ იქნება მარყუჟები, რადგანაც წყაროს მარშრუტი მთლიანად აკონტროლებს გზას. მეორეც ყოველი წყაროს მარშრუტი გულისხმობს რომ არსებულმა მარშრუტმა უნდა იარსებოს ქსელში. როცა წყაროს მარშრუტები აგზავნიან საკონტროლო პაკეტებს ქსელში როგორებიცაა მარშრუტის მოთხოვნა (Route Request) და მარშრუტზე პასუხი (Route Reply)

ნებისმიერ კვანძს რომელიც გაიგებს ამ ინფორმაციას შეუძლია შეინახოს აღნიშნული ინფორმაცია მარშრუტიზაციის ქეშში. ასე რომ გარდა მარშრუტების გადაცემისა, შუამავალი კვანძები სხვა უპირატესობებსაც იღებენ, კერძოდ კი მარშრუტიზაციის ინფორმაციას, რაც შეიძლება გამოყენებული იქნას შემდგომი მარშრუტის მოთხოვნისას.

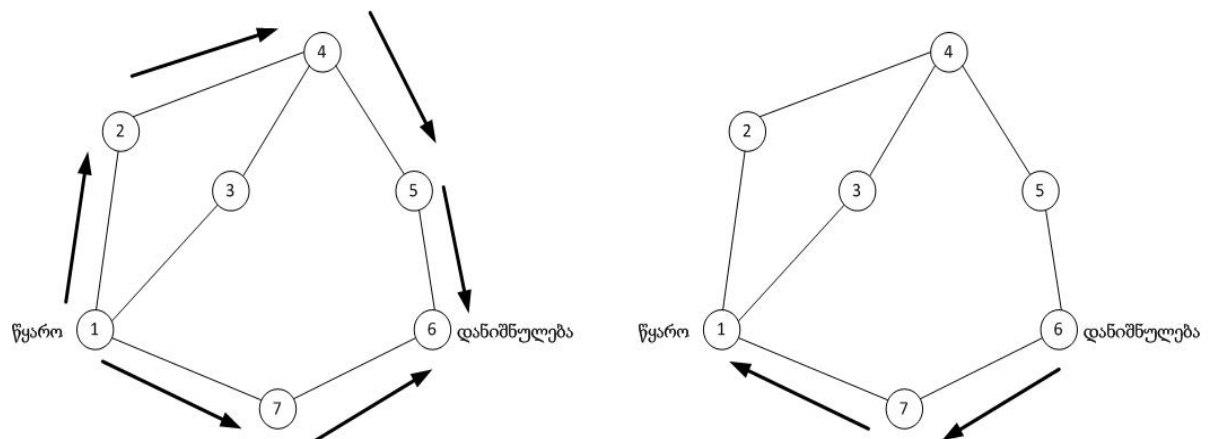
მიუხედავად იმისა რომ DSR იყენებს წყაროს მარშრუტებს და თითოეული პაკეტი თვითონ მოიკვლევს თავის გზას, ახალი განახლებები DSR ოქმში გვათავაზობენ რომ უმრავლეს შემთხვევაში არ არის საჭიროება რომ მარშრუტის მოთხოვნის პაკეტმა ბოლომდე მიაღწიოს დანიშნულებამდე. მასზე პასუხის გაცემა შეუძლიათ შუალედურ კვანძებს. ამის საშუალებას იძლევა DSR ოქმის მიერ ქეშში დაგროვილი ინფორმაციების გამოყენება. აღსანიშნავია რომ ამ დროს ქსელი დაცულია მარყუჟებისაგან და წყაროს მარშრუტიზაცია ხორციელდება მნიშვნელოვანი საკონტროლო პაკეტების ზედნადების გარეშე.

§2.3 მარშრუტის გამოვლენა (პოვნა)

დანიშნულებამდე მარშრუტის გამოსავლენად მარშრუტის წყარო აგზავნის მოთხოვნის მესიჯს ქსელში. მაგალითისთვის, როდესაც წყარო A ეძებს მარშრუტს დანიშნულებამდე E იგი აგზავნის სამაუწყებლო მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯს (ROUTE REQUEST). თავის მხრივ შუამავალი კვანძები ავრცელებენ აღნიშნულ მესიჯს, სანამდე იგი არ მივა დანიშნულებამდე, რომელიც შემდგომ პასუხობს მარშრუტზე დამოწმების მესიჯით (ROUTE REPLY) A წყაროს. არსებობს ოპტიმიზაციის მეთოდები რომლებიც ცდილობენ რომ შეზღუდონ სიხშირე და მარშრუტის მოთხოვნის გავრცელების ზოლი. სამაუწყებლო გაგზავნის მეთოდი, რომელიც გამოიყენება DSR-ში მუშაობს კარგად სადენიან ქსელებში, მაგრამ იგი განსაკუთრებით კარგად ერგება უსადენო ქსელებსაც მრავალი უსადენო წერტილის არსებობისას, სადაც გადაცემის მეთოდი არის სამაუწყებლო. ერთი მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯი საკმარისი არის რომ გადაეცეს ყველა კვანძის მეზობელს. მარშრუტის

მესიჯის დაგანერირებამდე კვანძი A ირჩევს გაგზავნის ნომერს რათა ეს მესიჯი იყოს გლობალურად უნიკალური. მოთხოვნის გავრცელებისას ქსელში, თითოეული კვანძი ამატებს თავის მისამართს და წერს მას პაკეტში სამაუწყებლო მოთხოვნის მესიჯის გადაგზავნამდე მეზობლებისთვის. მოთხოვნის მიღების დროს თუ კვანძს ნახაბი ჰქონდა მარშრუტი ასეთი იდენტიფიკატორით, ანდაც ნახავს თავის მისამართს ჩანაწერში ის უგულვებელყოფს ამ ასლს მოთხოვნის მესიჯის და არ გადაუგზავნის ამ მესიჯს არავის. შესაბამისად ალგორითმი მთლიანად დაცული არის მარშრუტიზაციის მარყუჟებისაგან. ეს ძალიან მნიშვნელოვან მახასიათებლად გვევლინება DSR ალგორითმის. გაგზავნილი მარშრუტიზაციის მოთხოვნის პაკეტმა შეიძლება გაიაროს მთლიანი გზა თუკი ოპტიმიზაციის მექანიზმები შედეგად შუამავალი კვანძების მარშრუტიზაციის ქეშში არ აღმოჩნდება დანიშნულების მისამართი. ამ შემთხვევაში მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯს ექნება ზედმეტი ზედნადები და იგი მოიხმარს კვანძებისაგან მეტ რესურსს.

ნახაზ 2.2 -ზე ნაჩვენებია DSR ოქმით მარშრუტიზაციის მოთხოვნის და დამოწმების მესიჯების გავრცელება.



ა) მარშრუტიზაციის მოთხოვნის პაკეტის გავრცელება (RREQ)

ბ) მარშრუტიზაციის დამოწმების პაკეტი (RREP)

ნახაზი 2.2 მარშრუტის შესწავლა DSR ალგორითმის შემთხვევაში

§2.4 მარშრუტის მომსახურება

მარშრუტის მომსახურების ფუნქციაა რომ აღმოაჩინოს პაკეტების გადაცემის დროს კავშირის გაწყვეტა. აღნიშნული მოვლენა შეიძლება სხვადასხვა მიზეზებმა გამოიწვიოს. მარშრუტის მომსახურე თითოეული კვანძი არის ვალდებული რომ შეამოწმოს და აღმოაჩინოს თუ მისი არხი მეზობელთან გაწყდება. როდესაც კვანძი მიხვდება რომ ის არხი რომელსაც იგი ემსახურება არის გაფუჭებული იგი გაუგზავნის მარშრუტის შეცდომის (ROUTE ERROR) მესიჯს პაკეტის ორიგინალურ გამომგზავნს A-ს. წყარო A შეეცდება რომ გამოიყენოს ნებისმიერი სხვა მარშრუტი რომელიც არის მის მარშრუტიზაციის ქეშში ან გამოიძახოს მარშრუტის მოთხოვნა თავიდან რომ იპოვოს ახალი მარშრუტი დანარჩენი პაკეტების გასაგზავნად.

§2.5 მარშრუტის ქეში

კვანძში ყოველი მიღებული ინფორმაცია, რომელიც საჭირო არის მარშრუტიზაციისათვის შენახული არის მარშრუტიზაციის ქეშში. ყოველ კვანძს ქსელში გააჩნია საკუთარი მარშრუტიზაციის ქეში, სადაც იგი ინახავს ნასწავლ ინფორმაციას როდესაც იგი ემსახურება სხვადასხვა კვანძების ინფორმაციის გადაცემას, რომელიც ვრცელდება ROUTE REQUEST და ROUTE REPLY მესიჯებით ანდაც წყაროს მარშრუტით. თუკი კვანძი აღმოაჩენს რომელიმე მექანიზმით რომ რომელიღაცა გზა არის გაფუჭებული იგი ამოიღებს მასთან შესაფერის ინფორმაციას მარშრუტიზაციის ქეშიდან.

მარშრუტიზაციის ქეშში, მრავალი ინოვაციის შეტანა შეიძლება და მასზე დაყრნობით შესაძლებელია ისეთი მიდგომების დანერგვა როგორცაა, უმოკლესი გზა, დიდ არხიანი გზა, ყველაზე სანდო გზა და ასე შემდგომ. მარშრუტიზაციის ქეშს უნდა ჰქონდეს საშუალება რომ შეინახოს 1-ზე მეტი

მარშრუტი თითოეული დანიშნულების ადგილისთვის. მარშრუტიზაციის ქეში ფართო კვლევების ჩატარების საშუალებას იძლევა მომავალში.

ამ კვლევაში ჩემს მიერ გამოყენებულ იქნა ორი დამოუკიდებელი ქეში, რომლებსაც ჰქვიათ პირველადი და მეორადი ქეში. როდესაც ხდება მარშრუტის მოთხოვნა კვანძი ცდილობს რომ მონახოს იგი პირველად ქეშში და თუ ვერ ნახავს მაშინ ცდილობს მეორად ქეშში. მარშრუტები რომლებიც მოიპოვება მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯის შედეგად ინახება პირველად ქეშში, ხოლო მარშრუტები კი რომლებიც ნასწავლი იყო არამოთხოვნით ინახება მეორად ქეშში და მათი გამოყენება მხოლოდ მაშინ მოხდება თუ პირველად ქეშში მარშრუტი არ იქნება. ასეთ შემთხვევაში სათადარიგო მარშრუტი გადაინაცვლებს პირველადი მარშრუტის ადგილას. ექსპერიმენტები ჩატარებულ იქნა რამოდენიმე ქემის მეთოდებზე. DSR ალგორითმის შესწავლა მობილურ ეპიზოდურ ქსელებში მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მარშრუტის ქემის მეთოდებზე და ეს სფერო წარმოადგენს დიდი კვლევის საგანს მომავალში.

§2.6 DSR-ის ოპტიმიზაციები

მარშრუტის პოვნის ოპტიმიზაცია

არაგავრცელებადი მარშრუტის მოთხოვნა: როდესაც ვაკეთებთ მარშრუტის შესწავლას, კვანძი პირველ რიგში აგზავნის მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯს გავრცელების ლიმიტით 1, რითაც იგი უკრძალავს მეზობლებს აღნიშნული პაკეტის დაგზავნის შესაძლებლობას. ერთი სამაუწყებლო მესიჯის მეშვეობით კვანძი ამოწმებს ყოველი მეზობლის მარშრუტის ქეშებს მარშრუტისათვის და ოპტიმიზაციას აკეთებს ისეთი შემთხვევისა როდესაც დანიშნულების ადგილი პირდაპირ არის მიერთებული მეზობელ კვანძთან. თუკი არაგავრცელებად მარშრუტის მოთხოვნაზე პასუხი არ მოვა 30 მილიწამში მაშინ გაიგზავნება შემგომი გადაცემის მესიჯი მაქსიმუმი ბიჯების

მნიშვნელობით. შესწავლილ იქნა დაყოვნებების მაჩვენებლები და 30 მილიწამიანი ინტერვალის სპეციალურად იქნა შერჩეული.

პასუხი მარშრუტიზაციის ქეშიდან: თუ კვანძი მიიღებს მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯს დანიშნულებისადმი E, რომლის მარშრუტი უკვე გააჩნია კვანძს, იგი დააგენერირებს მარშრუტზე პასუხის მესიჯს მისი მარშრუტის კეში მქონე ინფორმაციაზე დაყრდნობით და იგი არ გააგზავნის მარშრუტის მოთხოვნის სამაუწყებლო მესიჯს მთელს ქსელში. აღნიშნული ოპტიმიზაცია აკეთებს როგორც მარშრუტის პასუხის დაყოვნების შემცირებას, ასევე ქსელის რესურსების დაზოგვას იმის მეშვეობით რომ არ გააგზავნის ყოველ მეზობელთან მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯებს და თავის მხრივ აღარ მოუვა პასუხები მეზობელი კვანძებიდან ამავე მოთხოვნაზე. მარშრუტის ქეშს შეუძლია შეინახოს რამოდენიმე მარშრუტი ასე რომ თუ ერთი დანიშნულებისკენ გვაქვს ორი მარშრუტი, ეს არ ნიშნავს იმას რომ მოკლე გზა მოახერხებს დიდი გზის გადაწერას, ისინი ორივე შეინახებიან. მოკლე გზა იქნება პირველადი გზა და თუ იგი გაფუჭდება, სარეზერვო გზა მყისიერად მოემსახურება მარშრუტს. ეს მეთოდი ძალიან ოპტიმალურად ზოგას მარშრუტის მოთხოვნის და მარშრუტის პასუხის გადაცემის მესიჯებისგან ქსელს.

თავიდან აცილება მარშრუტიზაციის პასუხების შტორმებისაგან: კვანძებს ყველას შეუძლიათ უპასუხონ მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯებს რამაც შეიძლება წარმოქმნას მარშრუტის პასუხის შტორმები, მიზანშეწონილია მაქსიმალურად თავი დავიცვათ ასეთი შემთხვევებისაგან. აღნიშნულ დროს იხარჯება ქსელური რესურსებიც. ასევე ხშირი იქნება შემთხვევები როდესაც მოვა რამოდენიმე სწორი მარშრუტის პასუხი, მაგრამ აღნიშნულ მარშრუტებს ექნებათ განსხვავებული გზა. თუ კვანძებს შეეძლებათ მოისმინონ მარშრუტის პასუხი რომელიც ეგზავნება მარშრუტის მომთხოვნ კვანძს, მაშინ კვანძს შეუძლია შეადაროს ამ მარშრუტის პასუხი თავის მარშრუტის პასუხს და თუკი თავისი მარშრუტის პასუხი იქნება უფრო დიდი გზით მაშინ აღარ გააგზავნოს

მომთხოვნისკენ მარშრუტის პასუხის მესიჯი, ამ მეთოდით შესაძლებელია ქსელური რესურსების დაზოგვა.

ტექნიკური მომსახურების ოპტიმიზაციები

როდესაც შუამავალი კვანძი აღმოაჩენს რომ შემდგომი ბიჯი ნახსენები წყაროს მარშრუტში არის მიუწვდომელი, იგი შეამოწმებს თავისი მარშრუტის ქეშს რომ ნახოს სხვა ჩანაწერი იგივე დანიშნულებისადმი. თუკი მარშრუტი იქნება კვანძი ჩანაცვლებს წყაროს მარშრუტს თავსართის ჩანაწერს იმ ჩანაწერით რომელიც მას გააჩნია მარშრუტის ქეშში და გადააგზავნის პაკეტს დანიშნულების ადგილამდე. თუკი მარშრუტი ვერ მოიძებნა კვანძის ქეშში კვანძი გადააგდებს აღნიშნულ პაკეტს, იგი არ გააგზავნის მარშრუტის მოთხოვნის მეიჯს. ორივე შემთხვევაში კვანძი რომელიც აღმოაჩენს გზის გახლეჩას და ცდილობს მის გამოსწორებას გაუგზავნის მარშრუტის შეცდომის მესიჯს მარშრუტის წყაროს. შუალედური კვანძი არ ანხორციელებს მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მეთოდით მარშრუტის მოძებნას, იმიტომ რომ მეტად სავარაუდოა რომ ასეთ დროს მოხდება ქსელური რესურსების ტყუილად დახარჯვა. გაცილებით დიდია იმის შანსი რომ მარშრუტის წყაროს ექნება სხვა ალტერნატიული გზა დანიშნულების ადგილამდე ასე რომ ნებისმიერი გზის შეკეთების მცდელობამ აღმომჩენ კვანძზე სავარაუდოდ გამოიწვევს უსარგებლო დატვირთვას ქსელისას.

ჩვენ შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ შეცვლილი დიზაინი DSR ალგორითმის და წარმოვიდგინოთ რომ შუამავალ კვანძებს შეეძლოთ მარშრუტების გასწორება, ასეთ შემთხვევაში დაგვჭირდებოდა ახალი ტიპის მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯი, რომელიც მოითხოვდა მარშრუტს დაკარგული გზის შემდგომ კვანძამდე განსაზღვრული დანიშნულებისაკენ. გამომდინარე იქიდან რომ შუამავალმა კვანძებმა არ იციან რომელი კვანძი არის უმოკლესი ამ დაზიანებულ კვანძამდე მან უნდა გაუგზავნოს მარშრუტის მოთხოვნა ყველა კვანძს. მარტივად რომ ვთქვათ მარშრუტის მოთხოვნა იმ

კვანძის მიერ რომელიც გვევლინებოდა მარშრუტის მიმდევრობაში შემდგომ კვანძად შეიძლება გამოიწვიოს ძალიან დამახინჯებული გზის ჩამოყალიბება.

როდესაც გადამცემი A მიიღებს მარშრუტის შეცდომის მესიჯს იმ პაკეტისას რომელიც მან დააგენერირა, ის გადაუგზავნის მარშრუტის შეცდომის მესიჯს თავის მეზობლებს, ამ მეთოდით კვანძის მეზობლები აღარ გამოაგზავნიან მარშრუტის შეცდომის მესიჯებს კვანძი A -სკენ რომელიც მოიცავს იმავე არასწორ გზას დანიშნულებამდე.

§2.7 მოქმედების სავარაუდო სფერო DSR ოქმისთვის

ეპიზოდური ქსელებში DSR ოქმის გამოყენების დროს რამოდენიმე კომპონენტზე უნდა გავამახვილოთ ყურადღება. პირველი ეს არის კვანძების რაოდენობა რომლის მარშრუტიზაციაც უნდა გააკეთოს ქსელმა. მეორე ეს არის სიდიდეს მნიშვნელობა რა სიხშირითაც იცვლება ქსელის ტოპოლოგია. მესამე ეს არის ტრაფიკის დატვირთვა ქსელში.

ტრაფიკით დატვირთვა ყველაზე კარგად ითვლება მაშინ როდესაც ვიცით თუ რა გამტარობა შეუძლია მოცემულ არხს, თუკი ჩვენ ვიცით არსებული დატვირთვა და მთლიანი არხის სიდიდე მაშინ საერთო არხის დატვირთვა ძალიან მარტივი დასათვლელია, მაგრამ დინამიურ მობილურ ეპიზოდურ ქსელებში ტოპოლოგია მუდმივად იცვლება, ასევე ხშირად ცვალებადია გადაცემის არხის გამტარობა. მაგალითად 50კბ/წმ დატვირთვა 60კბ/წმ გამტარობის ქსელში შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ თითქმის გადატვირთულ არხად, როდესაც 50კბ/რმ დატვირთვა 5მგ/წმ საერთოდ არაფერს არ წარმოადგენს. ასევე მნიშვნელოვანია ის რომ გადატვირთული არხები გამოიწვევენ საკონტროლო პაკეტების ჩავარდნასაც.

სამივე აღნიშნული კომპონენტის გაზრდა კიდევ უფრო ართულებს მარშრუტიზაციას. კვანძების მატება, ტოპოლოგიის ხშირი ცვლილება და გადატვირთული გადაცემის არხები წამოჭრიან კიდევ რიგ პრობლემებს მარშრუტიზაციისას.

არ არის გასაკვირი რომ სხვადასხვა მარშრუტიზაციის პროტოკოლები სხვადასხვა ტიპის მოდელებზე არის მორგებული. DSR ოქმი დღევანდელი სპეციფიკაციით არის ოპტიმიზირებული რომ იმუშაოს საშუალო ზომის ქსელებში. იგი ფუნქციონირებს ძალიან პატარა ზედნადებით, მაღალი მობილურობის მაჩვენებელ გარემოში, სადაც ტოპოლოგია მუდმივად იცვლება. იგი ასევე გვაჩვენებს მაღალ მაჩვენებელს ძალიან გადატვირთულ გარემოში, ამასთანავე საკონტროლო ინფორმაციის გადასაგზავნად იყენებს ძალიან მცირე გადაცემის ზოლს. იმის გამო რომ მარშრუტის მოთხოვნის დროს DSR იყენებს სამაუწყებლო მესიჯის გაგზავნის მეთოდს, ქსელის ზომა რომელსაც მას შეუძლია მოემსახუროს უმაღლესი ხარისხით არის შეზღუდული. ჩემს მიერ განხილული და შერჩეული მეთოდებით DSR ყველაზე შესაფერისი არის 600 ან ნაკლებ კვანძიან ქსელებზე.

რთული ძიების საგანია იმ საზღვრის დადგენა თუ რა მანძილზე უნდა ეძებოს კვანძმა მარშრუტის და რა ეფექტი ექნება მარშრუტის მოთხოვნას მოუძებნელი კვანძებისას ქსელზე. მე დავიწყე შესწავლა DSR ოქმის იერარქიისა თუ რა მანძილზე არის მიზანშეწონილი გაგზავნა მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯების, რატომ მუშაობს ასე მოქნილად და კარგად DSR ოქმი საშუალო ზომის ქსელებში.

§2.8 პროტოკოლების შეფასება ad hoc ქსელებისათვის

აქ ჩვენ აღვწერთ ეპიზოდურ ქსელის გარემოში პროტოკოლის შეფასების მეთოდოლოგიას, კონცენტრაციას გავაკეთებთ სიმულაციის სისტემაზე და საზომებზე, რომელსაც თეზისის შემდეგ ნაწილებში გამოვიყენებ ანალიზისა და პროტოკოლების შედარებისთვის.

პროტოკოლების შესწავლისას სიმულაციის დიდი ღირებულება მდგომარეობს იმაში, რომ ის გვაძლევს სრულყოფილთან მიახლოებული ექსპერიმენტის კონტროლის საშუალებას: ექსპერიმენტი თავდაპირველად შეიძლება იყოს შექმნილი სურვილისამებრ, ხოლო შემდეგ განმეორებული

ექსპერიმენტული ცვლადის მნიშვნელობის ცვლილების შედეგად, როცა სხვა ცვლადების მნიშვნელობა უცვლადია. სიმულაციის საშუალებით, ასევე შესაძლებელია შემოწმდეს ქსელის ქცევა კვანძების უფრო დიდი რაოდენობის შემთხვევაში, ვიდრე ეს ფიზიკურ მოწყობილობაზე არსებობს, ან ქსელი ისეთ მოწყობილობაზე რომელიც ჯერ ბუნებაში არ არსებობს.

სიმულაციის უარყოფითი მხარე მდგომარეობს იმაში, რომ რეალური პირობები მაინც უნდა იყოს გათვალისწინებული და მასზე დაყრნობით გაკეთდეს სიმულაცია. შეუძლებელია მთლიანი სამყაროს ასლის გაკეთება კომპიუტერულ მოდელში, შესაბამისად სიმულაციის შექმნისას ზოგიერთი ფაქტორი უნდა იყოს სტატისტიკურად ან რამე სხვა გზით მიახლოებული. პირველადი მნიშვნელობის მქონე ფაქტორების ქცევის არასწორედ შეფასების შემთხვევაში, შესაძლებელია სრულიად მცდარ შედეგამდე მიგვიყვანოს.

§2.9 NS2 პროგრამული უზრუნველყოფა

ჩემს მიერ ჩატარებულ კვლევაში DSR ოქმის შესასწავლად გამოიყენებოდა NS2 პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც შეიცავდა შემდეგ კომპონენტებს: Tcl release 8.5.10 , Tk release 8.5.10, Otcl release 1.14, TclCL release 1.20, Ns release 2.35, Nam release 1.15 , Xgraph version 12 , CWeb version 3.4g , SGB version 1.0 Gt-itm gt-itm and sgb2ns 1.1, Zlib version 1.2.3.

კვანძის მოდელი

თითოეული მობილური კვანძის მოდელს აქვს მდებარეობა და სიჩქარე და მოძრაობს ტოპოგრაფიის გარშემო, რომელიც არის განსაზღვრული ციფრული ამაღლების რუქაზე ან ბრტყელ ზედაპირიან ბადეზე. მობილური კვანძის მდებარეობა შეიძლება იყოს გამოთვლილი, როგორც დროის ფუნქცია და გამოიყენება რადიო გავრცელების მოდელში ერთი კვანძიდან მეორეში

გავრცელების დაყოვნების გასაზომად და თითოეული მობილური კვანძის მიღებული სიგნალის ენერჯის დონის დასადგენად.

ყოველ გაშვებაზე სიმულატორი მიიღებს შემავალ მონაცემად სცენარის ფაილს, რომელიც აღწერს თითოეული კვანძის ზუსტ მოძრაობას და თითოეული კვანძის მიერ წარმოქმნილი პაკეტების ზუსტ თანმიმდევრობას, ასევე დროს თუ როდის ხდება თითოეული იცვლება მოძრაობისას ან ხდება პაკეტის წარმოქმნა. თითოეული გაშვებისას შეიქმნება trace ფაილი, რომლის ინახება დისკზე და გაანალიზებული უამრავი სკრიპტების მეშვეობით. ერთერთის სახელია totals.pl, რომელიც ითვლის წარმატებულად მისული პაკეტების რაოდენობას და პაკეტის მოძრაობის გზის სიგრძეს, დამატებით ინფორმაციის თითოეული პროტოკოლის შიდა ფუნქციონირების შესახებ.

მოძრაობის მოდელები

სწავლებების უმეტესობა, რომელიც აღწერილია ამ თეზისში შექმნილია კვანძების საშუალებით რომელიც მოძრაობენ Random Waypoint მოდელის მიხედვით. შემთხვევითი ხეტიალის სცენარის დამახასიათებელია დროის პაუზის მნიშვნელობა, რომელიც ახდენს ზეგავლენას თუ რამდენად ხშირად მოძრაობენ კვანძები სცენარის მანძილზე, რომელიც თავის მხრივ განაპირობებს ტოპოლოგიის ცვლილების რაოდენობას. სცენარები დაგენერირებულია პირველ რიგში პაუზის მნიშვნელობის შერჩევით, შემდეგ კი ამ ალგორითმის მიხედვით:

ყოველი კვანძი იწყებს სიმულაციას შემთხვევითად შერჩეულ მდებარეობაზე სიმულაციის ადგილის ფარგლებში. სიმულაციის დაწყების შემეგ კვანძი არის სტატიკურ მდგომარეობაში გარკვეული დროის განლაგლობაში. ის შემდეგ შეარჩევს შემთხვევით დანიშნულების ადგილს და მოძრაობს მისკენ სიჩქარით, რომელიც განაწილებულია ერთფეროვნად 0-დან 10მ/წმ რაიმე მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე. დანიშნულების ადგილზე მიღწევისას, კვანძი ისევ გაჩერებულია პაუზის დროის მანძილზე, ირჩევს სხვა დანიშნულების ადგილს და აგრძელებს მისკენ მოძრაობას უკვე აღწერილი მეთოდის მიხედვით. ეს მეორდება სიმულაციის მთელი დროის მანძილზე .

§2.10 კვანძების განთავსება

უსადენო მრავალნახტომიანი ქსელი ეს ისეთი თვითორგანიზებადი ქსელია, რომელშიც რადიოკავშირი ობიექტებს შორის მყარდება ცენტრალური ინფრასტრუქტურის არსებობის გარეშე. იმისათვის, რომ სრულად მოვახდინოთ ასეთი ქსელის ახალი პროტოკოლის სიმულაცია, უნდა გამოვიყენოთ მობილური კვანძების გადაადგილების ნათლად ამსახველი მოდელი. ამაზე დაყრდნობით კი განვახორციელებთ პროტოკოლის შესწავლას. მხოლოდ ამ შემთხვევების განხილვის შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, იქნება თუ არა გამართლებული ამ პროტოკოლის გამოყენება რეალურ სისტემებში.

გადაადგილების მოდელმა უნდა მოახდინოს რეალური კვანძების მოძრაობის სიმულაცია გარემოში, რისთვისაც საჭიროა ყოველი კვანძის სიჩქარისა და მისი მიმართულების ცვლილება დროში.

მაგალითად, ნაკლებად საინტერესო იქნება, რომ ერთმა კვანძმა იაროს თანაბრად და სწორხაზოვნად მთელი სიმულაციის პროცესში, რადგან რეალურად კვანძები ასე არ გადაადგილდებიან.

არსებობს გადაადგილების სხვადასხვა მოდელი. ესენია:

1. Random Walk Mobility Model : მარტივი გადაადგილების მოდელი, რომელიც იყენებს სიჩქარისა და მისი მიმართულების შემთხვევით ცვლილებებს.
2. Random Waypoint Mobility Model: მოდელი, რომელშიც კეთდება პაუზა დანიშნულების ადგილისა და სიჩქარის შეცვლის დროს.
3. Random Direction Mobility Model: მოდელი, რომელშიც კვანძი სიმულაციის სივრცის საზღვრის მიღწევას იცვლის სიჩქარესა და მიმართულებას.
4. Boundless Simulation Area Mobility Model: მოდელი, რომელშიც სიმულაციის 2D მართკუთხა არე ტოროიდულ არედ გარდაისახება.
5. Gauss-Markov Mobility Model: მოდელი, რომელშიც მუდმივად იცვლება კვანძების გადაადგილების პარამეტრთა შემთხვევითობის ლოგიკა. .

6. Probabilistic Version of the Random Walk Mobility Model: მოდელი, რომელშიც მობილური კვანძების დანიშნულების ადგილის განსაზღვრისათვის ალბათობების ნაკრები გამოიყენება.
7. City Section Mobility Model: მოდელი, რომელშიც სიმულაციის არე ასახავს ქალაქსა და მის ქუჩებს.

გადაადგილების მოდელები საფუძვლად უდევს მეთოდებს, რომლებითაც შეისწავლება ფიქური ქსელის სხვადასხვა მაჩვენებელი. აქ ჩვენ შემოვიფარგლებით გადაადგილების მხოლოდ ორი მოდელის განხილვით. ესენია: *Random Walk Mobility Model* და *Random Waypoint Mobility Model*.

§2.11 ობიექტის გადაადგილების მოდელები

ამ სექციაში ჩვენ წარმოვადგენთ ორ გადაადგილების მოდელს რომელიც წარმოვადგინეთ ად-ჰოკ მობილური ქსელების შესასწავლად. ესენია, *Random Walk Mobility Model* და *Random Waypoint Mobility Model*, რომლებიც ყველაზე ხშირად გამოიყენება კვლევების დროს.

§2.11.1 Random Walk Mobility Model - შემთხვევითი ხეტიალის მობილობის მოდელი

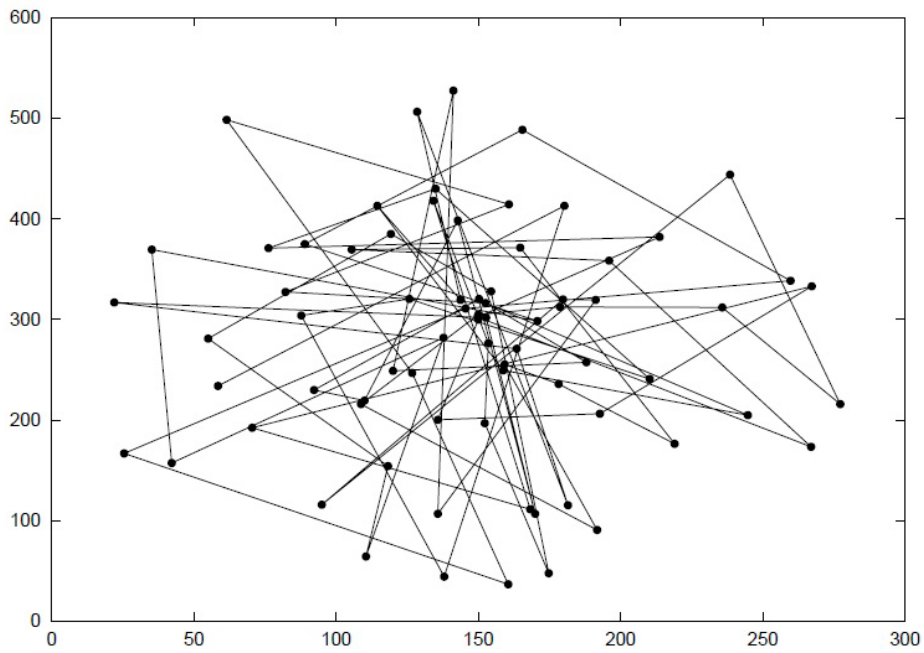
ეს მოდელი პირველად ალბერტ აინშტაინმა წარმოადგინა. მობილობის ამ მოდელში მოძრავი კვანძი გადაადგილდება თავისი მიმდინარე მდგომარეობიდან ახალ მდგომარეობამდე და შემთხვევით ირჩევს გადაადგილების მიმართულებასა და სიჩქარეს. ორივე სიდიდის - ახალი სიჩქარისა და ახალი მიმართულების - არჩევა ხდება წინასწარ განსაზღვრულ დიაპაზონებში [*მინიმალური სიჩქარე, მაქსიმალური სიჩქარე*] და [*ნული, სრული კუთხე*] შესაბამისად. ადგილმდებარეობის ყოველი ცვლილება

მობილობის შემთხვევითი ხეტიალის მოდელში ან იკავებს დროის მუდმივ t ინტერვალს, ან ხასიათდება მუდმივი განვლილი d მანძილით, რომლის დასრულებისას გამოითვლება ახალი მიმართულება და ახალი სიჩქარე.

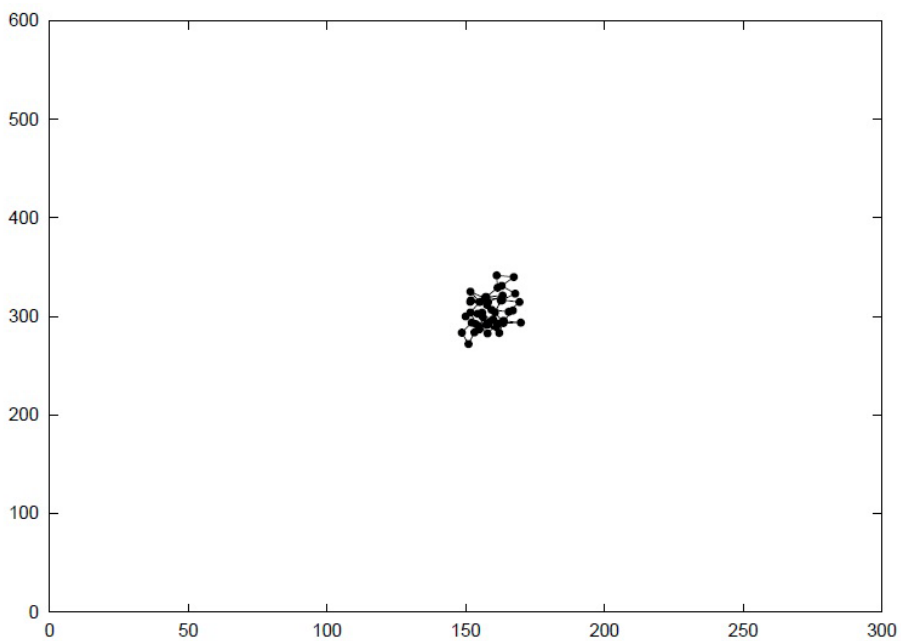
თუკი ასეთი ალგორითმით მოძრავი კვანძი მივა საზღვრამდე, იგი აირეკლება ზუსტად იმ კუთხით, რომლითაც მივიდა საზღვრამდე, და შემდეგ გააგრძელებს მოძრაობას.

გადაადგილების 2D მოდელში დედამიწის რელიეფი წარმოდგენილია 2D ზედაპირად, ესე იგი სიბრტყედ. ნახაზი 2.3 გვაჩვენებს გადაადგილების მაგალითს. ეს გადაადგილება ხორციელდება ხსენებულ 2D მოდელზე. მობილური კვანძი იწყებს მოძრაობას 300მ x 600მ სიმულაციის მართკუთხედის ცენტრიდან, ანუ (150, 300) პოზიციიდან. ყოველ წერტილზე კვანძი შემთხვევით ირჩევს მიმართულებას 0-დან 2π -მდე შუალედში და სიჩქარეს - 0-დან 10მ/წმ-მდე დიაპაზონში. კვანძს უფლება აქვს იმოძრაოს 60 წამის განმავლობაში სიჩქარისა და მისი მიმართულები მომდევნო ცვლილებებს შორის. ამ მოდელში შესაძლებელია, რომ კვანძმა შეიცვალოს მიმართულება და სიჩქარე არა დაწესებული დროის, არამედ დაწესებული განვლილი მანძილის შესაბამისად. ამ ტიპის მოდელის შესწავლის შედეგი მოყვანილია 2.4 სურათზე. მაგალითში მობილური კვანძი (60 წამის ნაცვლად) მოძრაობს 10 ბიჯის (ნახტომის) ტოლი მანძილის გავლით სიჩქარისა და მისი მიმართულების შეუცვლელად. 2.3 ნახაზისაგან განსხვავებით 2.4 ნახაზზე ყველა გადაადგილების სწორედ ეს თავისებურებაა წარმოდგენილი.

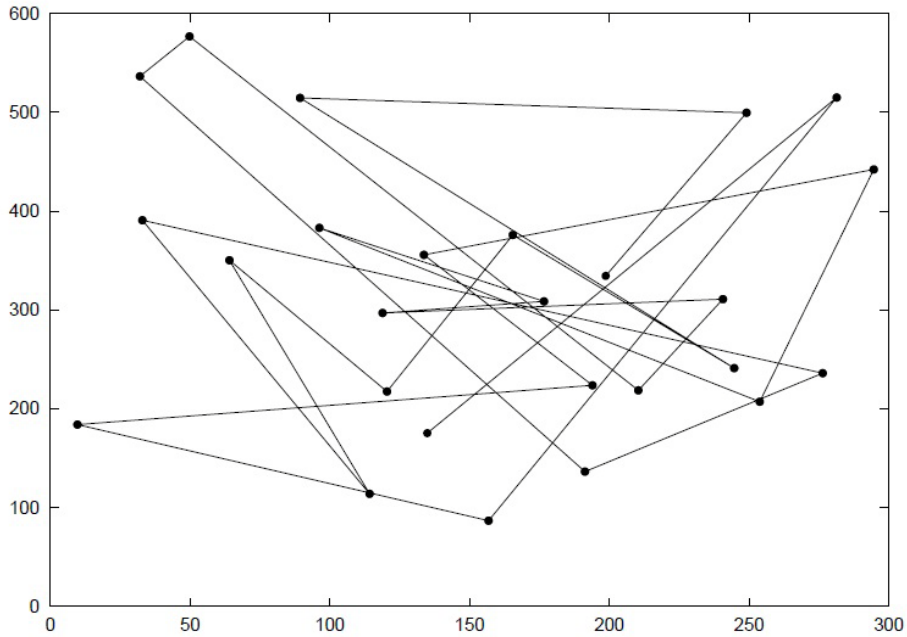
შემთხვევითი ხეტიალის ყაიდის მობილობა (The Random Walk Mobility) გამოირჩევა იმით, რომ მას არ აქვს რაიმე ინფორმაცია წინა მდებარეობებსა და სიჩქარეებზე. მიმდინარე სიჩქარე და მიმართულება დამოუკიდებელია წინა სიჩქარესა და მის მიმართულებაზე. გადაადგილების ასეთი ხასიათის გამო შესაძლებელია სრულიად არარეალური მოძრაობების გაჩენა მოულოდნელი დაცემის კუთხეებით და მკვეთრი მობრუნებებით.



ნახაზი 2.3: კვანძების მოძრაობის პირველი მაგალითი შემთხვევითი ხეტიალის მობილობის მოდელის (Random Waypoint Mobility Model) შემთხვევაში



ნახაზი 2.4: კვანძების მოძრაობის მეორე მაგალითი შემთხვევითი ხეტიალის მობილობის მოდელის (Random Waypoint Mobility Model) შემთხვევაში



ნახაზი 2.5: მობილური კვანძების მოძრაობა Random Waypoint Mobility Model–ის შემთხვევაში (133, 180) კოორდინატების საწყისი წერტილიდან

§2.11.2 Random Waypoint Mobility - მარშრუტის შემთხვევითი წერტილის მობილობა

მარშრუტის (გზის) შემთხვევითი წერტილის მობილობა (Random Waypoint Mobility) არის მოძრავი მომხმარებლების მოძრაობის შემთხვევითი მოდელი. იგი განკუთვნილია მობილური მომხმარებლების მოძრაობის ტრაექტორიის, ასევე მათი ადგილმდებარეობის, სიჩქარისა და აჩქარების დროში ცვლილების აღწერისათვის, მაგალითად, უსადენო დეცენტრალიზებულ თვითორგანიზებად ქსელებში.

მარშრუტის (გზის) შემთხვევითი წერტილის მობილობის მოდელი მოიცავს პაუზებს მიმართულების და/ან სიჩქარის ცვლილებებს შორის. მობილური კვანძი იწყებს იმით, რომ გარკვეული დროის განმავლობაში რჩება ერთ ადგილზე, ესე იგი პაუზით. ამ დროის გავლის (ამოწურვის) შემდეგ მობილური კვანძი ირჩევს დანიშნულების შემთხვევით ადგილს მოდელირების არეში და სიჩქარეს, რომელიც თანაბარი ალბათობით არის განაწილებული

[*მინიმალური სიჩქარე, მაქსიმალური სიჩქარე*] შუალედში. შემდეგ მობილური კვანძი გადაადგილდება არჩეული სიჩქარით დანიშნულების ახლახან არჩეული პუნქტისაკენ. იქ მისვლისას მობილური კვანძი ჩერდება გარკვეული დროით და შემდეგ პროცესის განახლება ხდება.

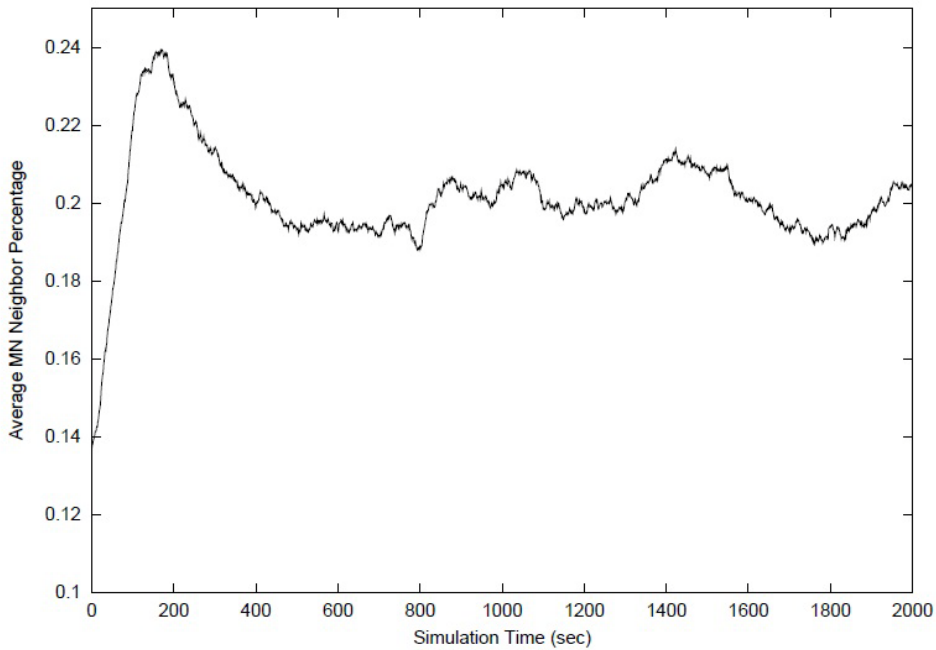
2.5 ნახაზზე ნაჩვენებია ასეთი მობილური კვანძების მაგალითი. ისინი მოძრაობს აღწერილი სტრატეგიით. სახელდობრ, კვანძი იწყებს მოძრაობას შემთხვევითად არჩეული (133, 180) წერტილიდან; მობილური კვანძის სიჩქარის არჩევა ხდება შემთხვევით შუალედში 0-დან 10 მ/წმ-მდე.

ადვილი შესამჩნევია, რომ, თუ პაუზის ხანგრძლივობა 0 წამს შეადგენს, მაშინ Random Waypoint Mobility და Random Walk Mobility მოდელებში კვანძის მოძრაობა ერთნაირი აღმოჩნდება, რისთვისაც ცხადია, წინასწარ განსაზღვრული პარამეტრები ერთნაირი უნდა იყოს.

Random Waypoint Mobility მოდელი ასევე ძალიან ფართოდ გამოყენებული მოდელია და ზოგჯერ მას გამარტივებულადაც კი იყენებენ პაუზის უგულბელებოების ვითარებაში.

უმრავლეს შემთხვევაში, უსადენო დეცენტრალიზებული თვითორგანიზებადი მობილური ქსელების მახასიათებლების შესწავლისას Random Waypoint Mobility მოდელის საფუძველზე, მობილური კვანძები სიმულაციის არეში განაწილებულია შემთხვევითად. კვანძების საწყისი განაწილება არ განსაზღვრავს მათი მომდევნო მოძრაობის ხასიათს.

ნახაზზე 2.6 წარმოდგენილია მეზობელი (Neighbor) მობილური კვანძების (MN - Mobile Nodes) საშუალო (Average) პროცენტული წილის (Percentage) დამოკიდებულება ქსელური სიმულაციის დროზე Random Waypoint Mobility მოდელის გამოყენებისას, როცა სიჩქარის მნიშვნელობა 1მ/წ-ს უდრის, ხოლო პაუზის დრო ნულს შეადგენს.



ნახაზი 2.6: მეზობელი მობილური კვანძების საშუალო პროცენტული წილის დამოკიდებულება სიმულაციის ხანგრძლივობაზე

მეზობელი მობილური კვანძების საშუალო პროცენტული წილი იმ მობილური კვანძების პროცენტია, რომლებიც მეზობლებად მიიჩნევიან. მაგალითად, თუ ქსელში 50 კვანძია და თითოეულს ჰყავს 10 მეზობელი, მაშინ მეზობელი მობილური კვანძების საშუალო პროცენტული წილი 20-ის ტოლია. კვანძის მეზობლად კი იმ კვანძს მიიჩნევენ, რომელთანაც შესაძლებელია უშუალო კავშირი. როგორც 2.6 ნახაზიდან ვხედავთ, თავიდან, 600 წამის განმავლობაში, მეზობელი კვანძების პროცენტული წილის მნიშვნელოვანი ცვლილება ხდება. მეზობელი მობილური კვანძების საშუალო პროცენტული წილის ეს ცვალებადობა მოითხოვს სიმულაციის მრავალჯერ ჩატარებას და საერთო შედეგის ჩამოყალიბებას მხოლოდ ასეთი შესწავლის შედეგად.

ახლა ჩვენ შეგვიძლია სამი მოსაზრების ჩამოყალიბება, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს თავიდან ავიცილოთ კვანძების საწყისი ადგილმდებარეობის ინიციალიზაციის პრობლემა. პირველი მოსაზრება იმაში მდგომარეობს, რომ შევინახოთ კვანძების ადგილმდებარეობები, რომელზეც ისინი აღმოჩნდა სიმულაციის შემდეგ და გამოვიყენოთ ეს ინფორმაცია საწყის

ადგილმდებარეობებად მომდევნო სიმულაციისას. მეორე მოსაზრება იმაში მდგომარეობს, რომ კვანძების განაწილებად უფრო დამახასიათებელი კონფიგურაცია შევარჩიოთ. მაგალითად, კვანძების განაწილება სამკუთხედის პრინციპით Random Waypoint Mobility მოდელში უფრო ზუსტ და რეალისტურ სურათს იძლევა, ვიდრე მათი განაწილება შემთხვევითობის პრინციპზე დაყრდნობით. მესამე მოსაზრება კი იმაში მდგომარეობს, რომ არ გავითვალისწინოთ სიმულაციის პირველი 1000 წამი, რითაც საერთოდ მოიხსნება ინიციალიზაციის პრობლემა.

რაც შეეხება Random Waypoint Mobility მოდელს, რომელშიც პაუზები გვაქვს, აქ საკმაოდ რთულია დამოკიდებულება კვანძის სიჩქარესა და პაუზის ხანგრძლივობას შორის. მაგალითად, სწრაფი კვანძებისა და ხანგრძლივი პაუზების შემთხვევაში ვიღებთ უფრო სტაბილურ ქსელს, ვიდრე ნელი კვანძებისა და ხანმოკლე პაუზების დროს.

როცა სიმულაციისას იყენებენ RandomWaypoint Mobility მოდელს, მაშინ პარამტრებიც შესაბამისად უნდა შეირჩეს. მაგალითად, თუ ქსელის შესწავლისას კვანძების სიჩქარე იცვლება 0-დან 1 მ/წმ-მდე, ხოლო პაუზის ხანგრძლივობა მერყეობს შუალედში 60 წმ-დან 300 წმ-მდე და თითოეული სიმულაციის ხანგრძლივობა 300 წამს შეადგენს, მაშინ შეიძლება დავასკვნათ, რომ მცირე სიჩქარეებისა და ხანგრძლივი პაუზების დროს ტოპოლოგია თითქმის არ შეიცვლება.

§2.12 გადაადგილების მოდელის არჩევის მნიშვნელობა

აქ ჩვენ გავაკეთებთ იმის დემონსტრირებას, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია მოძრაობის მოდელის შერჩევა და როგორი ეფექტი შეიძლება ჰქონდეს ამას უსადენო დეცენტრალიზებული თვითორგანიზებადი (MANET) ქსელის პროტოკოლის შესწავლისას. ამის გარკვევა არსებითია, რადგან გადაადგილების სხვადასხვა მოდელის არჩევისას შედეგებიც არ არის ერთნაირი.

სიმულაციისთვის გამოყენებული იქნა NS2 პროგრამული უზრუნველყოფა, რის შედეგადაც შეფასდა ხსენებული ქსელების ფუნქციონირება კვანძების გადაადგილების სხვადასხვა მოდელის შემთხვევაში. სიმულაციისას გამოყენებული იყო 50 კვანძი. თითოეული კვანძი იცვლიდა მიმართულებას 100 მეტრის გავლის შემდეგ. ამასთან ერთად გამოვიყენეთ DSR პროტოკოლი.

DSR (Dynamic Source Routing protocol) არის მარშრუტიზაციის მარტივი, მაგრამ ეფექტური პროტოკოლი, რომელიც მოთხოვნისთანავე ახორციელებს მარშრუტის ფორმირებას.

2.7 ნახაზზე ასახულია დანიშნულების ადგილამდე მონაცემთა პაკეტების დროულად მიტანის პროცენტის (Data Packet Delivery Ratio, %) დამოკიდებულება გადაადგილების საშუალო სიჩქარეზე (Average Speed, m/s).

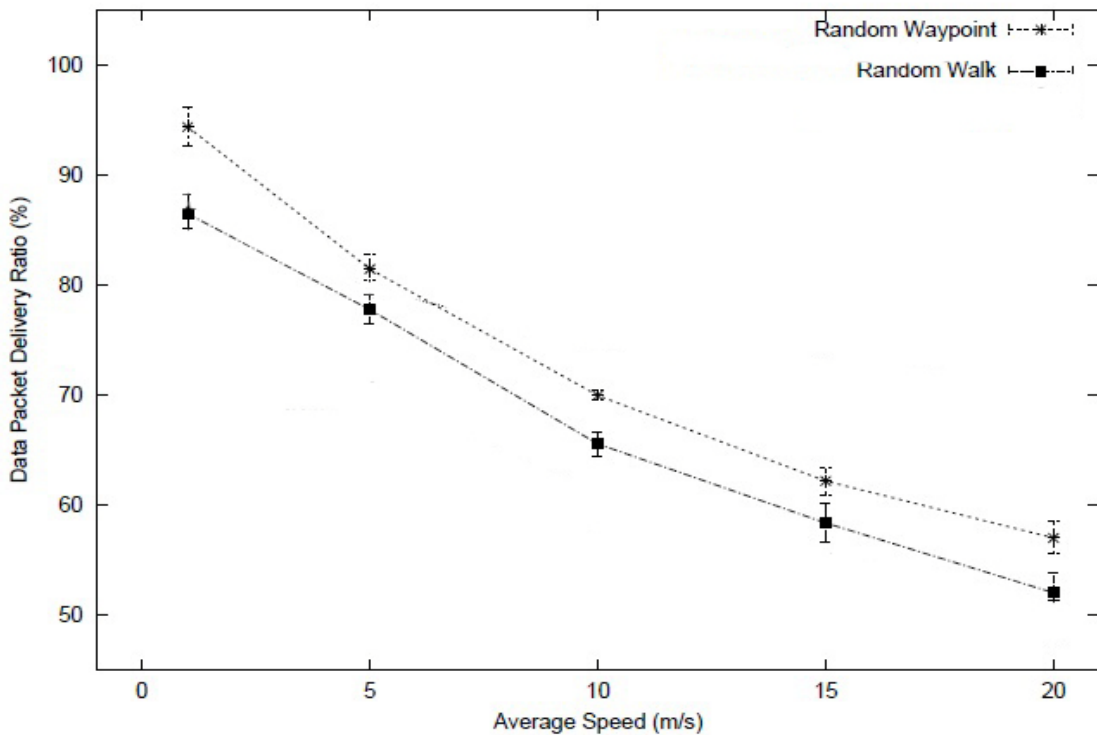
სიმულაცია ტარდებოდა 2010 წამის განმავლობაში, მაგრამ შედეგები აღებულია ბოლო 1010-წამიანი შუალედიდან, როდესაც მონაცემები იგზავნებოდა სიმულაციის დროის პირველი ათასწამიანი პერიოდის გავლის შემდეგ. ამის გამო უფრო რეალისტურ და ზუსტ შედეგს ვიღებთ. განიხილებოდა 20 წყარო, რომლებიც მუდმივი (1 პაკეტი წამში) ბიტრეიტით (bitrate - ბიტების, თანრიგების გადაცემის სიჩქარე) უგზავნიდა პაკეტს ოცივე მიმღებს. ყველა პაკეტის ზომა 64 ბაიტს შეადგენდა .

ყოველი ქსელური მახასიათებლის შეფასება განხორციელებულია 10 სხვადასხვა სიმულაციის შედეგის საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლით. პირველადი განაწილება კვანძების თითოეული სიმულაციის დასაწყისში შემთხვევითია.

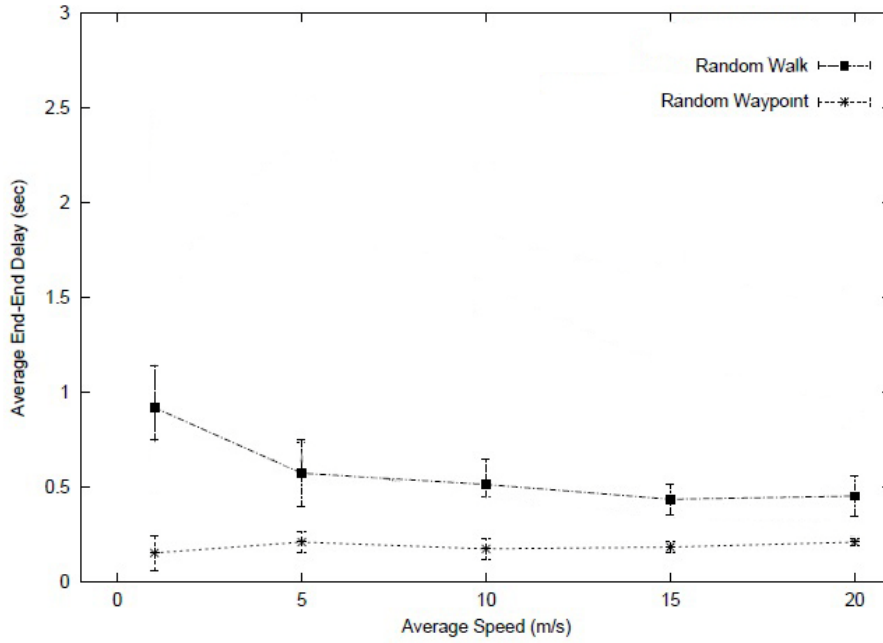
ჩვენს შედარებაში Ad hoc ქსელის მახასიათებლები ფასდებოდა DSR პროტოკოლისათვის. მათ რიცხვს მიეკუთვნება: დანიშნულების ადგილამდე მონაცემთა პაკეტების დროულად მიტანის პროცენტი (Data Packet Delivery Ratio, %), საშუალო დაყოვნება მონაცემთა გადაცემის გამჭოლ მარშრუტზე (Average End-End Delay, sec), ნახტომების (რეტრანსლატორების) საშუალო რიცხვი (Average Hop Count) და პროტოკოლის სამსახურებრივი [პროტოკოლური]

მონაცემები/სიგნალები (overhead), რომლებიც ემატება გადაცემულ სასარგებლო ინფორმაციას. საინტერესოა ასევე მონაცემთა გადაცემის კავშირგაბმულობის ხაზის ხარისხი. იგი ფასდება დანიშნულებამდე მისული პაკეტების რიცხვის ფარდობით მთლიანად გაგზავნილ პაკეტთა რიცხვზე.

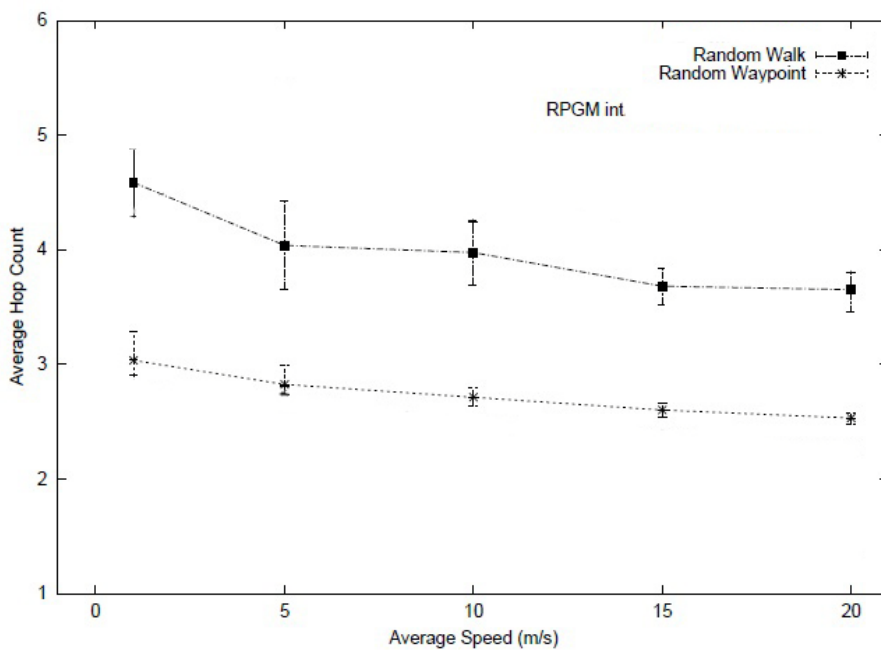
2.7 და 2.8 ნახაზები ასახავს ისეთ მახასიათებლებს, როგორცაა დანიშნულების ადგილამდე მონაცემთა პაკეტების დროულად მიტანის პროცენტი და მონაცემთა გადაცემის გამჭოლი მარშრუტის საშუალო დაყოვნება კვანძის გადაადგილების ორივე მეთოდის შემთხვევაში DSR ალგორითმის გამოყენებისას. მ2.9 ნახაზი კი იძლევა ნახტომების (რეტრანსლატორების) საშუალო რიცხვის დამოკიდებულებას სიჩქარეზე



ნახაზი 2.7: დანიშნულების ადგილამდე მონაცემთა პაკეტების დროულად მიტანის პროცენტის დამოკიდებულება საშუალო სიჩქარეზე



ნახაზი 2.8 : მონაცემთა გადაცემის გამჭოლი მარშრუტის საშუალო დაყოვნების დამოკიდებულება საშუალო სიჩქარეზე



ნახაზი 2.9: ნახტომების (რეტრანსლატორების) საშუალო რიცხვის დამოკიდებულება საშუალო სიჩქარეზე

დასკვნა

უსადენო დეცენტრალიზებული თვითორგანიზებადი (MANET) ქსელის შეფასების მაჩვენებელი შეიძლება მნიშვნელოვნად შეიცვალოს სხვადასხვა გადაადგილების მოდელების შემთხვევაში. ნახაზებზე 2.7-2.9 ნაჩვენებია ასეთი ქსელების შეფასების მაჩვენებლები გადაადგილების სხვადასხვა სტრატეგიისათვის. აქედან ნათლად ჩანს, რომ ნებისმიერი მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გადაადგილების მოდელზე.

შეფასების ქსელური მაჩვენებელი ასევე შეიძლება მნიშვნელოვნად შეიცვალოს, თუ გადაადგილების ერთი და იგივე მეთოდი სხვადასხვა პარამეტრით გამოიყენება. გადაადგილების მეთოდის შერჩევა ისეთნაირად უნდა ხდებოდეს, რომ იგი მაქსიმალურად შეესაბამებოდეს რეალურ სიტუაციას.

თავი 3

DSR-ის მოდელირების ანალიზი

ჩემი კვლევის მიზანი არის რომ შევავსო ის სარგებლობა რაც მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციას მოაქვს მობილურ ად-ჰოკ ქსელებში. ერთი შეხედვით ეს შეიძლება ჩანდეს მარტივ ამოცანად, რადგანაც მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციის მახასიათებლები კარგად ერგებიან იმ მოთხოვნებს და გარემოებებს რაც ეპიზოდურ ქსელებს ახასიათებს. მიუხედავად აღნიშნულისა მთელი რიგი ოპტიმიზაციები არის საჭირო DSR ალგორითმის სრულყოფისთვის მოცემულ მდგომარეობაში. ამ თავში ჩვენ მოვახდენთ შესწავლასა და ანალიზს Ad hoc მექანიზმების და სიმულაციის შედეგებზე დაყრდნობით ვუპასუხებთ ყოველ გამოწვევას.

მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციის ეფექტი პაკეტის დაყოვნებაზე

მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაცია ცდილობს რომ მოიძიოს მარშრუტი დანიშნულებამდე მხოლოდ მაშინ როდესაც ამისი საჭიროება არის. გზის მოძიება უნდა დასრულდეს მანამდე სანამ პაკეტის გაგზავნა მოხდება, რაც ამატებს დაყოვნებას პაკეტის გადაცემისას. არსებობს რამოდენიმე მექანიზმი რომ შევამციროთ ზედნადები გადაცემისას რაც საშუალებას მოგვცემს რომ შევამციროთ დაყოვნება. ქვემოთ ჩვენ ჩამოვაცალიებთ დაყოვნებასთან და ქსელურ ზედნადებთან დაკავშირებულ კითხვებს.

რა ღირებული შედეგი შეიძლება მოიტანოს ქსელური ზედნადების დაზოგვამ ეპიზოდურ მარშრუტიზაციის გარემოებაში

პროტოკოლმა რომელიც მუშაობს მოთხოვნისამებრ უნდა მოიძიოს მთლიანი გზა რომელიც კვანძმა უნდა გაიაროს რომ მიაღწიოს დანიშნულების ადგილამდე. პროტოკოლზე ოპტიმიზაციით შეგვიძლია მოვახდინოთ შემცირება ზედნადების კომუნიკაციის ინიციალიზაციის დროს, მაგრამ ახალი მარშრუტის შესწავლა ყოველთვის დარჩება ხარჯიან ოპერაციად.

რა დრო სჭირდება პროტოკოლს რომ აღადგინოს გაფუჭებული მარშრუტი ეპიზოდურ გარემოებაში , კვანძების გადაადგილება და რადიო გადაცემა იწვევს ტოპოლოგიის ცვლილებებს და არხის არასტაბილურობას. თუკი არხი რომელსაც აქტიურად იყენებს მარშრუტი გაფუჭდება პოტენციურად ყოველი პაკეტი რომელიც იყენებდა ამ არხს გადაიყრება სანამ არ მოხდება ახალი მარშრუტის შესწავლა და გამოყენება. ასე რომ ის დაყოვნება რომელიც იქნება გაფუჭებული მარშრუტის შეკეთებისას და არსებული პაკეტების ახალი სწორის გზით გადაცემისა არის კრიტიკული ფაქტორი მარშრუტიზაციის პროტოკოლისა.

როდესაც ხდება ქეშირება მარშრუტების მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციის გადაწყვეტილებისა, რა არის ხარისხი და ეფექტი ამ ქეშირებისა, რა მნიშვნელობა აქვს ქეშის სისწორეს მარშრუტიზაციის ოქმისთვის

მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაცია უნდა იყენებდეს მარშრუტიზაციის ქეშს, რომ მოახდინოს და თავიდან აიცილოს თავიდან შესწავლა ყოველი მარშრუტიზაციის გადაწყვეტილების ყოველი პაკეტისათვის. მაგრამ , ამავდროულად ქეში შეიძლება შეიცავდეს ძველ და არასწორ ინფორმაციას, მაგალითად არხი არსებული 2 კვანძს შორის შეიძლება აღარ იყოს გადაცემის ზოლში. ეს მოძველებული ინფორმაცია კი ქსელის მაჩვენებლის შესუსტებას უფრო გამოიწვევს ვიდრე ოპტიმიზაციას.

მიუხედავად იმისა რომ მე ვაწარმოებდი ექსპერიმენტებს DSR -ოქმის საშუალებით, ეს პრობლემა ზოგადია უსადენო ქსელებში ყველა ად-ჰოპ ქსელისთვის რომელიც მუშაობს მოთხოვნისამებრ.

DSR ალგორთმი გვამლევს კარგ მაგალითებს ამ კვლევაში ვინაიდან იგი დაფუძნებული არის მთლიანად მოთხოვნისამებრ გარემოზე. მაგრამ ჩვენი პასუხები ამ კითხვებზე შეგვიძლია განვაზოგადოთ სხვა პროტოკოლებზეც რომლებიც დაფუძნებულია მსგავს მექანიზმებზე.

§3.1 სიმულაციის მოდელი

იმისათვის რომ გამეკეთებინა ანალიზი სხვადასხვა მექანიზმებისა DSR ოქმზე, მე მოვახდინე სხვადასხვა პარამეტრებით გაშვება DSR ალგორითმის ერთსადაიმავე ქსელზე ერთიდაიგივე პირობებით. სიმულაციამ საშუალება მოგვცა რომ შეგვესწავლა სხვადასხვა მახასიათებლები და მათი დამოკიდებულება DSR ალგორითმთან, სიმულაციის შედეგების შედარებით ჩვენ მივიღეთ ანალიზის დიდი საშუალება. ჩვენ ჩავატარეთ ექსპერიმენტი NS2 პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით, რომელსაც გააჩნია საშუალება გააკეთოს რეალისტური მოდელირება მობილურ ეპიზოდურ ქსელებში. თითოეული სიმულაცია იყენებდა 60 კვანძს და სიმულაციის დრო იყო 1000 წამი.

კვანძის გადაადგილება

სიმულაცია ჩატარებულ იქნა გადაადგილების ორ სხვადასხვა მოდელზე: შემთხვევითი ხეტიალის მეთოდი, როდესაც კვანძები მოძრაობენ და სტატიკური მოდელი, როდესაც კვანძები სიმულაციის დროს არ მოძრაობენ. ყოველი შედეგი რაც შემდგომში არის წარმოდგენილი არის შემთხვევითი ხეტიალის მეთოდზე დაყრდნობით. ჩვენ ჩავთალეთ რომ უმოძრაო კვანძებზე ჩატარებული ექსპერიმენტები ძალიან პროგნოზირებადი და ადვილად შესწავლადი აღმოჩნდა.

სიმულაციის პირობები

სიმულაციისას კვანძის საწყისი განლაგება იყო შემთხვევითი და თითოეული კვანძი ირჩევდა სიჩქარეს შემთხვევით 0/20 მ/წმ შუალედში. პაკეტები იგზავნებოდა კვანძიდან კვანძამდე მუდმივი ბიტრეიტით (CBR) თითოეული წყარო აგზავნიდა 512 ბაიტი ზომის პაკეტს წამში 5 -ჯერ. სულ

არჩეულ იქნა 25 CBR კონექცია თითოეული სიმულაციისათვის. სიმულაციისას 25 CBR კონექცია დაიწყო თავიდანვე და იგი მიმდინარეობდა სიმულაციის ბოლომდე. იმისათვის რომ თავიდან აგვეცილებინა შემთხვევითობის ფაქტორი და მიგველო უფრო ზუსტი შედეგები ჩვენ გავაკეთეთ 10 ასეთი სიმულაცია და შედეგებში ავსახეთ საშუალო ამ 10 სიმულაციისა. ყოველი სცენარი ტარდებოდა ერთიდაიგივე პირობებზე.

სიმულაციის არე

DSR ოქმის სიმულაცია ეპიზოდურ ქსელებზე ჩავატარეთ ორ სხვადასხვა სიმულაციის არეზე.

პირველ შემთხვევაში ავიღეთ 1600მx400მ მართკუთხედის მაგვარი არე, მეორე შემთხვევაში კი კვადრატისებრი 800მX800მ არე, ასეთი მეთოდით განლაგება საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ DSR ოქმის მუშაობა განსხვავებული სახით.

მართკუთხა არე იწვევს ხაზოვან განლაგებას კვანძებისას. მარშრუტის სიგრძე ამ შემთხვევაში გვევლინება უფრო დიდად ვიდრე კვადრატული არეს შემთხვევაში.

კვადრატულ არეს მოდელში კვანძები თავისუფლად გადაადგილდებიან ერთმანეთის გარშემო. მისი ფართი დაახლოებით არის მარკუთხა არეალის ფართის ტოლი, მაგრამ საშუალო მარშრუტის სიგრძე რჩება ნაკლები ამ შემთხვევაში. სამაგიეროდ ასეთი განლაგების მეთოდით უსარგებლოდ იკარგება დიგნალის დაფარვის ზონა. კერძოდ კი ტერიტორიის დიდი ნაწილი სადაც კვანძები ასხივებენ არ ხვდება სიმულაციის არეში

§3.2 მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაცია და დაყოვნება

მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციის მახასიათებელმა მობილურ ეპიზოდურ ქსელებში შეიძლება გამოიწვიოს პაკეტის დაყოვნების გაზრდა, რადგანაც ასეთ ქსელებში ჯერ ხორციელდება მარშრუტის მოძიება და შემდეგ

პაკეტის გადაცემა. ღია მაგალითი DSR ოქმის ამ მახასიათებლის არის მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯი. მაგალითად თუკი წყარო A-ს უნდა რომ გააგზავნოს პაკეტი დანიშნულების ადგილამდე E და მას არ გააჩნია მარშრუტი, მან უნდა გააგზავნოს მარშრუტის შესწავლის მესიჯი მანამდე სანამ გაუგზავნის პაკეტს E-ს. A-მ უნდა შეინახოს ბუფერში ეს პაკეტი მანამ სანამ არ მოუვა მარშრუტზე პასუხი მესიჯი. ეს საკმაოდ კრიტიკული მომენტია ისეთი აპლიკაციებისთვის რომლებიც მკაცრად მოითხოვენ რომ პაკეტი უნდა მივიდეს მკაცრად განსაზღვრულ დროში.

ჩვენ შეგვიძლია გავიხსენოთ სექცია 2.3-ში განხილული მარშრუტიზაციის შესწავლის მაგალითი.

ფაზა1 - არაგავრცელებადი მარშრუტის მოთხოვნა: კვანძი A გადაცემს მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯს 1 ბიჯის დაფარვის არეალში, მესიჯი მისდის მხოლოდ მეზობლებს, თუ მისულ კვანძს არ აღმოაჩნდა მარშრუტი იგი უგულვებელყოფს მესიჯს

ფაზა2 - გავრცელებადი მარშრუტის მოთხოვნა: თუკი 30 მილიწამის შემდეგ არაგავრცელებად მარშრუტიზაციის მოთხოვნაზე არ მოვიდა პასუხი მაშინ კვანძი A გადააგზავნის გავრცელებად მარშრუტის მოთხოვნის ახალ სამაუწყებლო მესიჯს შეზღუდვის გარეშე. ყოველი კვანძი რომელიც მიიღებს ამ მესიჯს ან გამოაგზავნის მარშრუტიზაციის დამოწმების მესიჯს მარშრუტიზაციის ქეშზე დაყრდნობით და თუ არ გააჩნია ეს ინფორმაცია, მაშინ გადაუგზავნის ქსელის შემდგომ ელემენტებს სამაუწყებლო მესიჯს, როდესაც დანიშნულების წყარო E მიიღებს პასუხს იგი გამოუგზავნის მარშრუტიზაციის დამოწმების მესიჯს A გადამცემს.

იმისთვის რომ დავთვალოთ დაყოვნება მარშრუტიზაციის შესწავლის, ჩვენ ვზომავთ დროს როცა კვანძი აგზავნის მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯს და ველოდებით სანამ არ მიიღებს მარშრუტიზაციის პასუხის მესიჯს. ჩვენ ვიყენებთ პირველ პასუხს იმიტომ რომ მისი მოსვლისთანავე კვანძს შეუძლია გააგზავნოს პაკეტი, კვანძს არ სჭირდება რომ დაელოდოს რამოდენიმე პასუხს პაკეტის გაგზავნამდე. ამ მარშრუტიზაციის შესწავლის

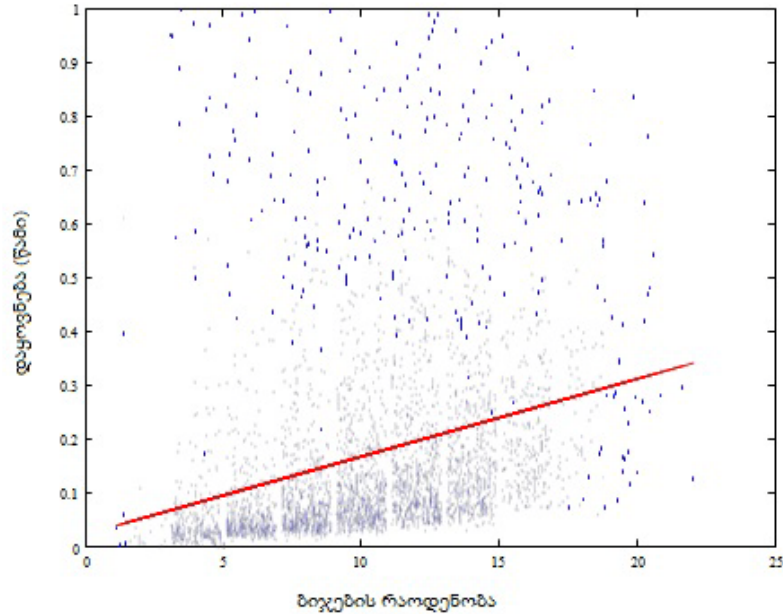
სტრუქტურის მაგალითზე დაყოვნება მარშრუტიზაციის შესწავლის არის დროის მონაკვეთი მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯიდან მარშრუტიზაციის დამოწმების მესიჯის მოსვლამდე. ეს გულისხმობს იმას რომ მარშრუტიზაციის შესწავლა დამოკიდებულია თუ რამდენად ჩქარად გავრცელდება კვანძებში ეს მესიჯები და რამდენად მალე მიაღწევს იმ კვანძამდე რომელმაც უნდა გამოაგზავნოს მარშრუტის პასუხი მესიჯი. ეს სიდიდე დამოკიდებული იქნება მანძილზე წყაროდან დანიშნულების ადგილამდე.

შემდეგ სექციაში ანალიზს გავუკეთებთ სიჩქარეს რითაც შეიძლება რომ პაკეტი გავრცელდეს ქსელში და იმ ფაქტორებს რომლებიც ზეგავლენას ახდენენ მარშრუტიზაციის ინფორმაციის გავრცელებაზე ქსელში.

მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯების გავრცელების სიჩქარე

ყველაზე დიდი დაყოვნება მარშრუტიზაციის მოძიებას უწევს მაშინ როდესაც სამაუწყებლო მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯმა უნდა მიაღწიოს დანიშნულებამდე. თუკი მარშრუტზე დამოწმებისთვის ქემის ოპტიმიზაცია გათიშულია, მაშინ მარშრუტის შესწავლა ყოველთვის აღწევს დანიშნულების ადგილამდე, ასე კი ვიღებთ ქსელში ყველაზე მეტ დატვირთვას და ყველაზე დიდ დაყოვნებას.

ნახაზ 3.1 - ზე გამოსახულია მარშრუტიზაციის შესწავლისას დამოწმებული პაკეტების მოსვლის დაყოვნების დამოკიდებულება ქსელში შუამავალი კვანძების რაოდენობაზე.



ნახაზი 3.1 შუამავალი კვანძების დამოკიდებულება დაყოვნებაზე

თითოეული წერტილი გამოსახავს იმ დაყოვნებას რომელიც დაფიქსირდა ქსელში მოცემულ მომენტში. შესწავლილი შედეგებიდან ვხედავთ რომ საშუალოდ 17 მილიწამი იხარჯება თითოეული ბიჯის გასავლელად.

დაყოვნების გავრცელება ასახავს რეალურ ბუნებას ჩვენი სიმულაციისა. მინიმალური დრო რომ კვანძმა დააგენერიროს და გაგზავნოს ქსელური ინტერფეისით მოთხოვნის პაკეტი მოიხმარს 600 მიკროწამს. ეს გულისხმობს რომ პაკეტი უმაღვე გამოიყენებს არსებულ მედიას.

§3.3 მარშრუტიზაციის ინფორმაციის გავრცელება ქსელში

მარშრუტიზაციის შესწავლისას ქსელში იგზავნება მარშრუტის მოთხოვნის პაკეტი, მასზე საპასუხოდ კი გამგზავნი ელოდება მარშრუტის დამოწმების მესიჯს. მარშრუტიზაციის შესწავლისას შეიძლება შემდგომი პასუხები მივიღოთ

ქეშიდან პასუხი.

პასუხი მოდის რომელიღაცა შუამავალი კვანძიდან რომელიც არ გვევლინება მარშრუტიზაციის შესწავლის დანიშნულების კვანძად

მიზანმიმართული პასუხი.

პასუხი მოდის იმ კვანძისაგან რომელიც მოითხოვა გამგზავნა მარშრუტიზაციის მოთხოვნის გადაცემისას. ასეთი შემთხვევები ყველაზე ხშირია როდესაც ახალი მარშრუტის მოთხოვნა ხდება.

მეზობლის პასუხი.

პასუხი მარშრუტიზაციის მოთხოვნაზე სიცოხლისუნარიანობით 1. მეზობლის პასუხი უნდა დაბრუნდეს მისი დაფარვის ზონაში მყოფი კვანძისაგან, იმიტომ რომ მისი გავრცელება არ შეიძლება. თუკი ჩანაწერი მოინახა მეზობლის მარშრუტიზაციის ქეში, მაშინ პაკეტის გამგზავნს მიუვა სწორი პასუხი, წინააღმდეგ შემთხვევაში გამოგზავნი გამოგზავნის ახალ სამაუწყებლო მესიჯს.

როდესაც მარშრუტიზაციის ქემის ოპტიმიზაცია ჩართული არის, თუ კი მოხდა მიზანმიმართული პასუხის მიღება, ეს ნიშნავს რომ არცერთი სხვა კვანძი არ იყო მიერთებული უფრო ახლოს ამ კვანძთან როგორც გადამგზავნი.

მეზობლიდან პასუხის მიღება ნიშნავს 2-დან 1 -ს. პირველი რომ დანიშნულების ადგილი პირაპირ იყო მიერთებული მეზობელ კვანძთან და მეორე რომ მეზობელს გააჩნდა ინფორმაცია მარშრუტიზაციის ქეში.

ცხრილი 3-1 ასახავს დაყოვნებას რომელიც ჭირდება მარშრუტის შესწავლის მომთხოვნს პირველი მარშრუტის პასუხის მესიჯის მოსვლამდე. ეს მონაცემები დაყოფილია მინიმუმ, საშუალო და მაქსიმუმ მაჩვენებლამდე და ასახავს სამივე ტიპის პასუხის შესწავლას რაც გავიარეთ აქამდე.

		მეზობლის პასუხი	ქეშის პასუხი	მიზანმიმართული პასუხი
პასუხების რაოდენობა		3142	1512	14
დაყოვნება	საშუალო	6.9 მწ	47 მწ	88.1 მწ
	მინიმუმი	1.2 მწ	1.3 მწ	24 მწ
	მაქსიმუმი	17 წ	2.6 წ	456.2 მწ

წ- წამი

მწ - 10^{-3} წამი

ცხრილი 3.1 მარშრუტზაციის დამოწმების მესიჯის მოსვლის დაყოვნება

დაყოვნება მეზობლის პასუხებზე

კვანძი მარშრუტზაციის მოთხოვნის დროს პირველად აგზავნის არაგავრცელებად მარშრუტზაციის ძიების მესიჯს, როგორც აღნიშნეთ თუ 30 მილიწამში კვანძს არ მოუვა მარშრუტზაციის დამოწმების მესიჯს, იგი ითვლება წარუმატებლად და კვანძი აგზავნის ახალ სამაუწყებლო მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯს. მიღებული შედეგებიდან ჩანს რომ საშუალო მაჩვენებელი ასეთი გადაცემის დროს იყო საკმაოდ მცირე 6.9 მწ. ასევე უმრავლესობა დაბრუნებული პასუხებისა სწორედ ასეთი ტიპის გაგზავნილ მესიჯებზე იყო. აქედან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნათ რომ მოხდა ქსელის მნიშვნელოვანი რესურსების დაზოგვა.

დაყოვნება ქეშირებული პასუხის

როდესაც არაგავრცელებადი მოთხოვნა ვერ დაკმაყოფილდება მაშინ კვანძი გააგზავნის ახალ სამაუწყებლო მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯს. ყოველი მარშრუტი რომელიც გაიგებს ამ მესიჯს შეეცდება რომ უპასუხოს მარშრუტის პასუხის მესიჯით თავისი ქეშიდან ან გაავრცელებს აღნიშნულ მესიჯს. შედეგში ჩანს რომ ასეთი შემთხვევით მიღებული საშუალო დაყოვნება დაახლოებით 8

ჯერ მეტია არაგავრცელებადი პასუხის შემთხვევაში მეზობლის მიერ გამოგზავნილი პაკეტის დაყოვნებაზე. ეს განსხვავება გვადლევს იმის საფუძველს რომ არაგავრცელებადი მესიჯების დაგზავნა საკმაოდ ეფექტური არის დაყოვნების შემცირებაში. ამავდროულად გასათვალისწინებელია ისიც რომ ქსელის მნიშვნელოვანი რესურსები დაიზოგა, რადგანაც არ მოხდა გავრცელება მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯებში მთლიან ქსელში.

მიუხედავად აღნიშნულისა ჩვენ არ შეგვიძლია გავრცელებადი მეთოდით მიღებული შედეგი ჩავთვალოთ ზუსტად, რადგანაც გავრცელებადი სამაუწყებლო მესიჯის გამოგზავნა ამ შემთხვევაში ხდება მხოლოდ იმ 30 მილიწამის მერე როდესაც არაგავრცელებად მესიჯი ჩაივლის წარუმატებლად.

ამისა და გათვალისწინებით ჩვენ მოვსახენით მექანიზმი რომელიც ავრცელებს არაგავრცელებად მესიჯებს და გავუშვით ეს მოდიფიცირებული DSR იგივე პირობების თანახმად ასეთ შემთხვევაში კი ქეშიდან პასუხის საშუალო დრო დაეცა 22 მილიწამამდე 2-ჯერზე მეტად ვიდრე ეს იყო მაშინ როდესაც ჩართული იყო არაგავრცელებადი მესიჯის გაგზავნა. ამაზე დაყრდნობით კი შეგვიძლია ვთქვათ რომ არაგავრცელებადი მოთხოვნა გვაზოგინებს დაახლოებით 16 მილიწამს დაყოვნებაში.

ცხრილი 3.2 -ზე ნაჩვენებია დაყოვნება მარშრუტიზაციის დამოწმების მესიჯები როდესაც არაგავრცელებადი მეთოდი იყო გამორთული

	საშ. დაყოვნება	მინ. დაყოვნება	მაქს. დაყოვნება
ქეშირებული პასუხები	21.5მწ	1.3 მწ	7 წ
მიზანმიმართული პასუხები	34მწ	3.9 მწ	64 მწ

ცხრილი 3.2 მარშრუტის დამოწმების მესიჯების დაყოვნება (არაგავრცელებადი მეთოდი გათიშულია)

მიზანმიმართული პასუხების დაყოვნება

ცხრილი 3.1 მოკლედ აღწერს დაყოვნებებს მიზანმიმართული პასუხის შემთხვევაში. საშუალო მაჩვენებელი არის 88 მილიწამი რაც საშუალოდ 41 მილიწამით მეტია ქეშირებულ პასუხებზე. გადიდებული დაყოვნება ძირითადად გამოწვეულია ბიჯების რაოდენობის გაზრდით რომლებიც მარშრუტის მოთხოვნის და მარშრუტის პასუხის მესიჯებმა უნდა გაიარონ. თითქმის ყველა შემთხვევაში პირველი მარშრუტიზაციის პასუხი მიღებული არ არის მიზანმიმართული პასუხი და არის ქეშირებული პასუხი. ჩვენი სიმულაციისას მიზანმიმართული პასუხი მოვიდა მხოლოდ 14 -ჯერ , მთლიანი სიმულაციის გათამაშების მანძილზე. ესეთი პატარა ციფრი მიგვითითებს იმაზე რომ ქეშირებული პასუხები ძალიან ეფექტურია და იგი მნიშვნელოვნად გვიმცირებს დაყოვნებას ქსელში.

იმისათვის რომ შეგვესწავლა მიზანმიმართული პასუხები ჩვენ გავთიშეთ ორივე მეთოდი, კერძოდ კი არაგავრცელებადი მარშრუტიზაციის პასუხის და ქეშირებული მარშრუტის მოთხოვნის პასუხის მეთოდი. ამის შემდგომ გავაკეთეთ სიმულაცია მოდიფიცირებული პირობებით.

აღნიშნული სიმულაციის შედეგად საშუალო დაყოვნების მაჩვენებელი მივიღეთ 425 მილიწამი, რაც 337 მილიწამით მეტი გამოვიდა ოპტიმიზირებულ DSR ალგორითმით მიღებულ შედეგებთან. მიზეზი ასეთი დიდი დაყოვნებისა არის ის რომ ყოველი მესიჯი მიდის ბოლომდე დანიშნულების ადგილამდე და ყველაზე გრძელი მანძილის გავლა. მიღებული შედეგები ცხადყოფს რომ იმ ოპტიმიზაციებმა რაც ჩვენ გამოვიყენეთ DSR ოქმთან მიმართებაში დიდი შედეგები გამოიღო.

ცხრილ 3.3 ნაჩვენებია მიზანმიმართული პასუხების შემთხვევაში დაყოვნებები, როდესაც ორივე ოპტიმიზაციის მეთოდი (არაგავრცელებადი მესიჯის გაგზავნა და ქეშირების მეთოდი) იყო გამორთული

	საშ. დაყოვნება	მინ. დაყოვნება	მაქს. დაყოვნება
მიზანმიმართული პასუხები	425მწ	3.9 მწ	12 წ

ცხრილი 3.3 - დაყოვნება მარშრუტიზაციის დამოწმების მესიჯების (ქეშირების და არაგარცელებადი გაგზავნის ოპტიმიზაციები გამორთულია)

§3.4 განსხვავებული ტოპოლოგიის ეფექტი

ჩვენს მიერ ჩატარებული სიმულაცია მოიცავდა ორი ტიპის არეს. ესენია კვადრატის ფორმის და მართკუთხედის ფორმის. კვადრატული არე მოიაზრებდა ორ ფაქტორს რომლითაც შეიძლებოდა დაყოვნების შემცირება მარშრუტიზაციის შესწავლისას მართკუთხა არეალთან შედარებით. პირველი არის ის რომ საშუალო ნახტომების რაოდენობა კვადრატური არეს შემთხვევაში არის ნაკლები ვიდრე მართკუთხა არეს შემთხვევაში, ასე რომ გადაცემის დაყოვნებაც კვადრატულ არეში გამოდის ნაკლები. მეორე ის რომ მარშრუტის პასუხის მესიჯები მოვა გადამგზავნთან უფრო ახლოს მყოფი კვანძებიდან, იმიტომ რომ მარშრუტიზაციის ინფორმაცია უფრო კარგად არის გავრცელებული ასეთი ტიპის ტოპოლოგიაში. მარშრუტიზაციის ინფორმაცია იქნება გაცილებით განაწილებული და გაშლილი მართკუთხა არეში, იმიტომ რომ საშუალო მეზობლების რაოდენობა კვანძზე გვაქვს ცოტა.

საშუალო მეზობელი კვანძის მაჩვენებელი კვადრატულ არეში მივიღეთ 17 და მართკუთხაში 12.

ცხრილზე 3.4 ნაჩვენებია რომ საშუალო მარშრუტიზაციის პასუხის დაყოვნება კვადრატული არეს შემთხვევაში უკეთესია

		მეზობლის პასუხი	ქემის პასუხი	მიზანმიმართული პასუხი
დაყოვნება	საშუალო	4.8 მწ	27 მწ	36 მწ
	მინიმუმი	1.2 მწ	1.3 მწ	28 მწ
	მაქსიმუმი	127 მწ	1.3 წ	58 მწ

ცხრილი 3.4 დაყოვნების შედარება ოტპიმიზაციის მეთოდების მიხედვით
(კვადრატული არე)

§3.5 დაყოვნების შედეგების შეჯამება

თითოეულ ნახტომზე დაყოვნება აგრეთვე დამოკიდებული არის სხვა არხის რიგის შემცვლელობაზე და მის დატვირთულობაზეც, არის შემთხვევები როდესაც კვანძი ბუფერში ინახავს პაკეტს და მერე გადასცემ მას როცა ამისი საშუალება მოეცემა. დაყოვნება მარშრუტიზაციის მოთხოვნის და მარშრუტიზაციის პასუხის მესიჯების გადაცემისას დამოკიდებული არის ნახტომების რაოდენობაზე, რაც მეტი ნახტომის გავლა მოუწევს პაკეტს, მით მეტი იქნება მისი დაყოვნება. უდიდეს ეფექტს მარშრუტიზაციის შესწავლის დაყოვნების შემცირებაში ვიღებთ კვანძში მარშრუტიზაციის ქემების გამოყენებით. ყველაზე ცუდ დაყოვნებას მარშრუტიზაციის შესწავლისას ვიღებდით როდესაც ქსელი გადატვირთული იყო და შედეგი რომელიც ჩვენ მივიღეთ იყო 10 წამზე მეტი. ასეთი გადატვირთულ და დიდ ნახტომიანი ქსელების დროს შეიძლება გამოყენებული იყოს ხარისხის კონტროლის მექანიზმები (QoS) რაც ცალკე კვლევის საგანი და ჩვენ არ განვიხილავთ მას ამ თეზისში.

§3.6 მოთხოვნისამებრ მარშრუტის შესწავლა

მიუხედავად იმისა რომ მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციის პროტოკოლები ამცირებენ მარშრუტიზაციის ზედნადებს, იმ ლოგიკაზე დაყრდნობით რომ ისინი არ აგზავნიან პერიოდულ განახლებებს ქსელში, რეალური ფასი ესეთი გადაწყვეტის შეიძლება იყოს ძალიან მნიშვნელოვანი. როდესაც კვანძ A გადასცემს მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯს, ეს მესიჯი იგზავნება მთლიან ქსელში, რაც პოტენციურად შეაწუხებს ქსელის ყოველ კვანძს და მოიხმარს ქსელის დიდ რესურსს და კვანძების ენერჯიას. თითოეული კვანძი რომელიც მიიღებს ამ მოთხოვნას ან გააგზავნის მარშრუტიზაციის დამოწმების მესიჯს მარშრუტიზაციის ქემის საფუძველზე მომთხოვნისკენ , ანდაც გადაუგზავნის ამ მესიჯს თავის მეზობლებს. არსებულ ფაქტორებს დაყრდნობით ჩვენ მივიღეთ საბოლოო ფასი მარშრუტიზაციის შესწავლისა DSR ალგორითმით. ჩვენ გამოვიკვლიეთ როგორ შეიძლება გამოვიყენოთ მარშრუტიზაციის ქემების და არაგავრცელებადი მოთხოვნები კვანძებზე და შევადარეთ მიღებული შედეგები ორი სიმულაციის არეზე, ეს არის მართკუთხა არე და კვადრატული არე. მარშრუტის შესწავლის მუშაობის პრინციპის ანალიზით ჩვენ მოვიკვლიეთ რომ იგი დამოკიდებულია საშუალო მეზობლების რაოდენობაზე კვანძში. მეზობლის რაოდენობა განსაზღვრავს თუ რამდენად ვიწროდ არიან კვანძები ერთმანეთთან მიერთებულნი. როდესაც გვეზრდება მიერთების მახასიათებელი და მაჩვენებელი, იმის ალბათობა ნაკლები ხდება რომ მიზანმიმართული პასუხი მივიღოთ რაც გულისხმობს რომ საშუალო დაყოვნებები ასეთ შემთხვევებში შეგვიმცირდება.

საერთო ღირებულება მარშრუტიზაციის შესწავლის DSR ოქმით

ჩვენ დავიწყეთ მარშრუტიზაციის შესწავლის მახასიათებლის შესწავლა მართკუთხა ტიპის სცენარებით, სადაც საშუალო მეზობლის რიცხვი იყო 12. მარშრუტის შესწავლისას განხილული იქნა დეტალურად მარშრუტის

მოთხოვნის მესიჯი, რომელიც 1 რიგში იგზავნებოდა არაგავრცელების მეთოდით და თუკი 30 მილიწამში არ მოუვიდოდა პასუხი კვანძს მაშინ იგი აგზავნიდა მესიჯს სამაუწყებლო გავრცელებადი მეთოდით, რაზეც მარშრუტიზაციის პასუხი მოსდიოდა მარშრუტიზაციის ქეშიდან.

ცხრილზე 3.5 ნაჩვენებია რამდენჯერ დაგენერირდა ისეთი ტიპის პაკეტები, როდესაც გამოვიყენებდით გვრცელებად და არაგავრცელებად მესიჯებს. ცხრილში წარმოდგენილია შესწავლის ღირებულებები გავრცელებადი და არაგავრცელებადი მესიჯის შემთხვევაში.

	არაგავრცელებადი მოთხოვნა	გავრცელებადი	ჯამი
გაგზავნილი	960	315	1,275
გადაგზავნილი	0	6,207	6,207
დაბრუნებული პასუხი	3,910	3,210	7,120
გადმოგზავნილი	0	6,981	6,981
დაუტვირთავი კვანძები	77.0%	43.0%	70%
ღირებულება(კვანძი)	4,07	42,8	15,2

ცხრილი 3.5 გავრცელებადი და არაგავრცელებადი მესიჯების მიმოხილვა

მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯის აღნიშნული ორი ტიპის მეშვეობით გვაძლევს საკმაოდ განსხვავებული შედეგებს, მაგრამ არასწორი იქნება თუკი ჩვენ მათ ცალ-ცალკე განვიხილავთ საბოლოო შედეგისათვის. საშუალოდ 315 გავრცელებადი მოთხოვნა იქნა გაგზავნილი თითოეული სიმულაციის დროს. მხოლოდ ამ მოთხოვნების შემოწომებით საშუალოდ თითოეული მოთხოვნა გადაიგზავნა დაახლოებით 20 ჯერ და გამოიწვია 10 მარშრუტიზაციის პასუხის მესიჯის დაბრუნება. რაც ნიშნავს იმას რომ თითოეული მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯი, მინიმუმ იწვევდა გადაგზავნილი კვანძებიდან თითქმის ნახევრის გარეგანს ქსელში. საშუალო ღირებულება მარშრუტიზაციის შესწავლის გავრცელებადი მოთხოვნის შემთხვევაში იყო 52 გადაცემა. ის ფაქტი რომ გავრცელება თითოეული სამაუწყებლო მარშრუტიზაციის მესიჯის იწვევს მინიმუმ 52 DSR პაკეტის

გადაცემას, გვეუბნება იმას რომ მარშრუტიზაციის შესწავლა პოტენციურად ექნება დიდი ღირებულება როდესაც კარგად არ არის დაგეგმილი.

თუ შევადარებთ გავრცელებად მარშრუტიზაციის მესიჯებს არაგავრცელებად მესიჯებთან მაშინ საშუალო შესწავლის ღირებულება ჩამოდის 4-ზე. გავრცელებადი მოთხოვნის ღირებულება დაახლოებით 13 ჯერ უფრო მეტია არაგავრცელებადზე იმიტომ რომ მთლიანი ღირებულება არაგავრცელებადი მოთხოვნის შემთხვევაში არის მოთხოვნა ერთი მესიჯის გადაცემის და შემდეგ ერთი მარშრუტიზაციის პასუხიც დალოდების მეზობლისაგან.

ქეშიდან პასუხის ეფექტი

DSR ალგორითმი მოიცავს მარშრუტიზაციის შესწავლას, რაც ხორციელდება შემდგომნარიად. კვანძი აგზავნის მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯს ქსელში, მიმღებ კვანძს შეუძლია რომ დაახშოს მოთხოვნის მესიჯის გადაგზავნა ქსელში თუ კი მას გააჩნია მარშრუტის ქეში ჩანაწერი დანისნულების კვანძის მიმართ.

იმისათვის რომ განგვესხვავებინა და გამოგვეჩინა მარშრუტის ქსეშიდან პასუხის ეფექტი ჩვენ გადავათამაშეთ ყველა სცენარები მოდიფიცირებული DSR ოქმით , როდესაც მარშრუტიზაციის ქეში იყო გათიშული.

ცხრილი 3.6 -დან ჩანს რომ, როდესაც გამოვრთეთ ქეშიდან პასუხი დაუტვირთავი კვანძების რაოდენობა მნიშვნელოვნად შემცირდა და წარმოადგინა 10%-მდე მარშრუტის მომსახურება კიდევ უფრო გაიზარდა და თითოეული შესწავლის პაკეტის მომსახურება გაიზარდა 101 ტრანსმისიამდე თითოეულ მოთხოვნაზე.

	გადაცემული მესიჯები
გაგზავნილი მოთხოვნა(წყარო)	869
გადაგზავნილი მოთხოვნა	39,571
დაბრუნებული პასუხი (მიმღები)	8,415
გადმოგზავნილი პასუხი	40,554
დაუტვირთავი კვანძები	10%
ღირებულება	101.1

ცხრილი 3.6 პაკეტების გავრცელების ანალიზი, როდესაც ქემის ოპტიმიზაცია გათიშულია

ესეთი მნიშვნელოვანი დავარდნა სასარგებლო გადაცემების და ამხელა ზედნადები გადაცემების კვანძების მიმართ, ნათლად გვეუბნება რომ კვანძებს აუცილებლად უნდა ჰქონდეთ საშუალება პასუხის გაცემის მარშრუტიზაციის ქეშიდან. როგორც შედეგებმა აჩვენა, ჩვენ დიდი სარგებელი მოგვიტანა მარშრუტიზაციის შესწავლისას მარშრუტიზაციის ქემის გამოყენებამ, მაგრამ აღსანიშნავია ისიც რომ სხვადასხვა პაკეტების ნაკადებმა შეიძლება რომ მნიშვნელოვნად გაზარდონ საკონტოროლო პაკეტების ნამატი და დატვირთონ ქსელი.

არაგავრცელებადი მოთხოვნის ეფექტი

მეორე მექანიზმი რომელიც გამოვიყენეთ რომ შეგვემცირებინა მარშრუტიზაციის შესწავლის ღირებულება არის გაფართოებული ძებნა. კერძოდ კი თითოეული მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯი ვრცელდება მხოლოდ მეზობლებზე, სიცოცხლისუნარიანობა ასეთ პაკეტებს გააჩნიათ 1. შედეგად ვიღებთ იმას, რომ თუკი დანიშნულების ადგილის ჩანაწერი

არსებობს მეზობელ კვანძებში, მაშინ აღარ მოხდება მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯის ზედმეტი გადაგზავნა. იმისათვის რომ შეგვემოწმებინა თუ რამდენად სასარგებლო იყო ასეთი მექანიზმის გამოყენება ჩვენ ჩავატარეთ იგივე სიმულაციები როდესაც DSR ალგორითმს არ შეეძლო არაგავრცელებადი მესიჯების გაგზავნა ქსელში.

ცხრილი 3.7 ასახავს გადაცემული მესიჯების ანალიზს მაშინ როდესაც არაგავრცელებადი მოთხოვნების გავრცელება იყო გამორთული

	გადაცემული მესიჯები
გაგზავნილი მოთხოვნა(წყარო)	801
გადაგზავნილი მოთხოვნა	8,902
დაბრუნებული პასუხი (მიმღები)	8,101
გადმოგზავნილი პასუხი	9,037
დაუტვირთავი კვანძები	57%
ღირებულება	32.5

ცხრილი 3.7 გადაცემული მესიჯების ანალიზი, არაგავრცელებადი მეთოდი გამორთულია

ამ შემთხვევაში დაუტვირთავი კვანძების რაოდენობა დაეცა 77% დან 57%-მდე და თითოეული მარშრუტიზაციის მოთხოვნის ღირებულება გაიზარდა 16 -დან 33 პაკეტამდე. ეს შედეგები გვაძლევენ განსჯის საგანს. ერთის მხრივ ის რომ ჩვენ მივიღეთ ოდნავ უარესი შედეგები არაგავრცელებადი გადაგზავნის მეთოდით და მეორეც ის რომ არაგავრცელებადი მეთოდი გვიზრდის დაყოვნებას როდესაც იგი უშედეგოდ იგზავნება (სექცია 4.2)

კვანძების სიმჭიდროვის ეფექტი მარშრუტიზაციის შესწავლისას

როგორც შედეგებმა გვაჩვენა საშუალო კვანძების სიმჭიდროვე მარკუთხა არეს შემთხვევაში იყო 12. იმისათვის რომ შეგვეფასებინა მეზობელი კვანძების ეფექტი მარშრუტიზაციის შესწავლისას, ჩვენ ჩავატარეთ იგივე ექსპერიმენტები კვადრატული არეს შემთხვევაშიც და ეს მაჩვენებელი მივიღეთ 17. მეზობლების რაოდენობის ასეთი გაზრდა გამომდინარეობდა იქიდან რომ მართკუთხა არე იყო განლაგებული გრძივად და დიდ მონაკვეთები კვანძის გადაცემის არეში ვერ ხვდებოდა, ანუ გადაცემა ხშირად უწყვედა ისეთ ადგილებში სადაც კვანძებს მოძრაობა არ შეეძლოთ.

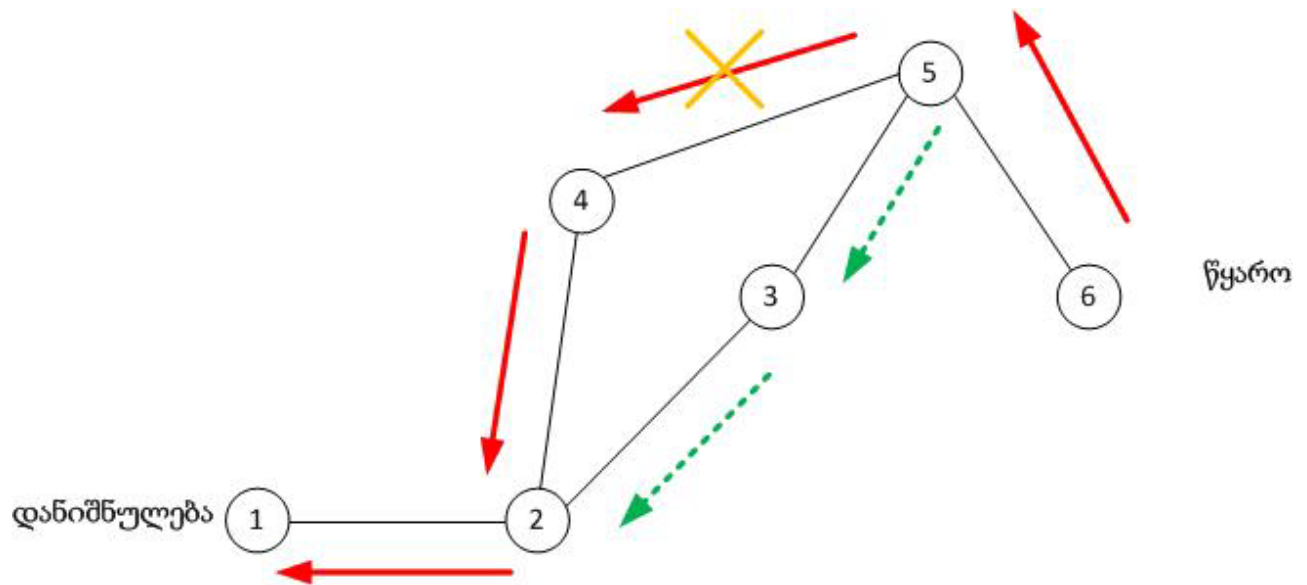
ჩვენი შემუშავებული მოდელის თანახმად შეგვეძლო გვეწინასწარმეტყველა რომ მარშრუტიზაციის შესწავლისას კვადრატული მეთოდით უნდა მიგველო მეტი დანაკარგები. რადგანაც კვადრატულ საიტზე გვექონდა მეზობლების უფრო ჭარბი წილი. შედეგებმა გვიჩვენა რომ დაუტვირთავმა კვანძებმა წარმოადგინა 62 % რაც 15 % ნაკლებია მართკუთხა არესთან შედარებით, მაგრამ შესწავლის ღირებულება უცვლელი იყო. შედარება გავრცელებად და არაგავრცელაბდი მოთხოვნის მესიჯებს შორის საკმაოდ დიდ განსხვავებას გვამლევს და აშკარაა რომ მიღებული შედეგები სხვადასხვა მეთოდებით სხვადასხვა სურათს დაგვიხატავდა.

ჩვენ გვეგონა რომ საბოლოო მაჩვენებელს დაუტვირთავი კვანძებისას ექნებოდა დიდი ეფექტი, მაგრამ აქ არის შემდეგი ფაქტორი რომ კვადრატულ არეში მოთხოვნის მესიჯები უფრო ვრცლად ვრცელდება და უფრო ბევრ კვანძს გადაეცემა, შესაბამისად ალბათობა რომ მარშრუტიზაციის მოთხოვნის დანიშნულების კვანძს უფრო ადვილად ვიპოვით მეტია, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს დაყოვნების დროის შემცირება, თავის მხრივ ამ შემთხვევაში ვაგებთ დანამატებში, იმიტომ რომ მარშრუტიზაციის მოთხოვნის მესიჯები უფრო მეტი გენერირდება და ისინი ჭარბად მოიხმარენ ქსელის რესურსებს. საბოლოო შედეგები გვამლევს იმას რომ მიუხედავად იმისა რომ კვადრატულ არეში ვიღებთ უფრო სწრაფ პასუხებს, მისი ხარჯი და ზეგავლენა საერთო ქსელზე გაცილებით დიდია.

§3.7 მოთხოვნისამებრ მარშრუტის შეკეთება

აქ ჩვენ განვიხილავთ გაფუჭებული მარშრუტის აღდგენის დროს დაყოვნება მარშრუტის შეკეთებისა ეს არის დრო იმის შემდეგ როცა დაიკარა პირველი პაკეტი იმ მომენტამდე როდესაც პაკეტი წარმატებით მივა დანიშნულების ადგილამდე.

ნახაზ 3.2 -ზე მოყვანილი მაგალითი როდესაც შუამავალი კვანძი ქეშში არსებული სარეზერვო მარშრუტის მეშვეობით ახერხებს მარშრუტის შეკეთებას.



ნახაზი 3.2 მარშრუტის შეკეთების მაგალითი

შეკეთების დაყოვნება როდესაც აღმოფხვრა წარმატებულია

ამ ანალიზისთვის შეგროვებულ ინფორმაციაში ჩვენ ვნახეთ რომ 10179 აქტიური მარშრუტი დაზიანდა კვანძების გადაადგილებისას. 6015 შემთხვევაში სხვა გზა დანიშნულების ადგილისადმი იყო გადამცემი კვანძის მარშრუტიზაციის ქეშში და ეს მარშრუტი წარმატებით მიდიოდა დანიშნულებამდე პაკეტების დაკარგვის გარეშე.

წარმატებული მარშრუტის აღდგენა ის შემთხვევაა როდესაც შუამავალ კვანძს არხის ჩავარდნის შემდეგ აქვს ალტერნატიული გზა შენახული მარშრუტიზაციის ქეშში. ამ შემთხვევებში დაყოვნება გზის შეკეთების მხოლოდ ის დროა რაც პაკეტს ჭირდება რომ ალტერნატიული გზით მივიდეს დანიშნულების ადგილამდე.

შეკეთების დრო როდესაც პაკეტები იკარგება

შედეგების ანალიზისას აღმოჩნდა რომ შეკეთებისას მხოლოდ 400 შემთხვევა იყო როდესაც 1 პაკეტი მაინც იყო დაკარგული. ძალიან იშვიათად ხდებოდა ზედიზედ 2 პაკეტზე მეტის დაკარგვა, როგორც მოგეხსენებათ სიმულაციის დროს პაკეტები იგზავნებოდა მუდმივი ბიტრეიტით წამში 5 - ჯერ, რაც ნიშნავს რომ ყოველ 200 მილიწამში ხდებოდა პაკეტების გაგზავნა

მარშრუტიზაციის შეცდომების დაყოვნება

როგორც აღვნიშნეთ მეორე თავში კვანძი რომელიც გადასცემს პაკეტს დანიშნულების ადგილს, მხოლოდ გადაცემის დროს აღმოაჩენს რომ გზა რომელსაც იგი იყენებს არის უვარგისი. ამის შემდეგ გაგზავნი მიიღებს მარშრუტის შეცდომის მესიჯს პასუხად. მარშრუტიზაციის შეცდომა იგზავნება იმ კვანძის მიერ რომელიც აღმოაჩენს რომ ის გზა რაც უწერია გამოგზავნ პაკეტს არის გაფუჭებული. ამის შემდეგ გადამცემი კვანძი აღმოაჩენს რომ გზა გაფუჭებულია, რამოდენიმე წარუმატებელი გაგზავნის მცდელობის და დამოწმების ვერ მიღების შედეგად.

ცხრილ 3.8-ზე ნაჩვენებია ის დრო რაც ჭირდება მარშრუტიზაციის შეცდომის მესიჯს რომ მისულიყო შეცდომის აღმომჩენი კვანძიდან გამოგზავნ კვანძამდე. საშუალო დაყოვნება ნახტომზე არის 8.19 მილიწამი და საშუალო 26 მილიწამი. საშუალოდ აღმომჩენი მომორებული იყო გადამცემისგან 1.85 ნახტომით.

	კვანძების რაოდენობა							
	1	2	3	4	5	6	7	8
საშუალო დაყოვნება (მწ)	8.19	17.15	24.68	30.2	39.2	81.5	59.13	412
# შეცდომები	8503	4015	1860	915	378	120	17	3

ცხრილი 3.8 მარშრუტიზაციის შეცდომები (მუდმივი მოძრაობა, ოპრიმიზირებული DSR, მართკუთხა არე)

§3.8 ქემის შესაბამისობა მოთხოვნისამებრ პროტოკოლებში

ყველა მარშრუტიზაციის პროტოკოლი, რომელიც გამოიყენებს მოთხოვნისამებრ მარშრუტის აღმოჩენას უნდა შეიცავდეს მარშრუტის ქეშირების რაიმე სისტემას. ეს გამომდინარეობს იქიდან რომ პაკეტის წყაროსთვის არ არის ხელმისაწვდომი, რომ გააკეთოს მარშრუტის აღმოჩენის ოპერაცია ყველა პაკეტზე რომელსაც გააგზავნის. როდესაც გამგზავნი ან მომსახურე კვანძი აღმოაჩენს მარშრუტს ქსელში, მან უნდა შეინახოს მარშრუტი რაიმე ქემის სახით მომავალი პაკეტების გასაგზავნად. DSR განსაკუთრებით კარგ გამოიყენებას აკეთებს მარშრუტის ქემის, რადგან გამოიყენებს არამხოლოდ წარმოქმნილი პაკეტების მარშრუტის ქეშირებისთვის, არამედ საშუალებას აძლევს კვანძებს რომ უპასუხონ მარშრუტის სხვა კვანძებზე დამიზნებულ მოთხოვნებზე.

როდესაც ქეში ემატება სისტემას, დგება საკითხი თუ როგორ უნდა მოვექცეთ მოძველებულ ქემ მონაცემებს. მარშრუტის ქემის კონტექსტში, მოძველებულ ქემს ვეძახით როცა მარშრუტის რომელიმე არხი გაფუჭებულია, რადგან პაკეტი რომელიც ამ მარშრუტით გაიგზავნება შეეჯახება გადამისამართების შეცდომას, ამის შემდგომ იგი შეეცდება გაფუჭებული არხის უარყოფას. მოძველებული მონაცემების მოშორება კვანძის საწყისი პაკეტის ქეშიდან კრიტიკულია, რადგან კვანძის მიერ ნებიმიერი პაკეტის მოძველებულ მარშრუტზე გაგზავნის შემთხვევაში დაუბრუნდება მარშრუტის შეცდომა და არსებობს საფუძვლიანი ალბათობა რომ პაკეტი იქნას გადაგდებული.

კვანძებისთვის მარშუტის ქეშის გამოყენება მარშუტის პასუხის დასაბრუნებლად უფრო მაღალ რისკს ატარებს, რადგან კვანძები მოძველებული ქეშის მონაცემებით დაბურნებენ მოძველებულ, არასწორ მარშუტებს რაც გამოიწვევს მარშუტის აღმოჩენისა და პოტენციურად სხვა კვანძების ქეშების დაბინძურებას.

ქეშის ქცევების ანალიზისთვის, ყველა კვანძს დავუძახებთ ან წარმომქმნელ კვანძებს ან გადამგზავნელ კვანძებს. წარმომქმნელი კვანძები არიან, რომლებიდანაც იგზავნება პაკეტი, ხოლო გადამგზავნი კვანძები თავად არ წარმოქმნიან მონაცემთა პაკეტებს, არამედ იქცევიან როგორც მარშუტიზატორები და ემსახურებიან პაკეტის მარშრუტიზაციას. როგორც აღწერილია 3.1 სექციაში, სიმულაციის კომუნიკაციის ნაკადში გამოყენებულია 25 წარმომქმნელი კვანძი (რომელიც ასევე შეიძლება იყოს გადამგზავნი სხვა კავშირებისთვის) და 36 გადამგზავნი კვანძი (რომლებიც ვერ იქნება წარმომქმნელი ვერცერთი კავშირისთვის). წარმომქმნელი კვანძის მარშუტის ქეში გადამგზავნი კვანძისგან ძალიან განსხვავებულად იქცევა, რადგან წარმომქმნელი აქტიურად ითხოვს მარშუტის აღმოჩენას რომ შეინარჩუნოს კარგი მარშუტი კვანძებთან რომელთაგანაც აგზავნის პაკეტს და შესაბამისად ის ხდება სამიზნე მარშუტის შეცდომების როცა პაკეტი იგზავნება გაფუჭებულ მარშუტზე. გადამგზავნი კვანძები შეძლებისდაგვარად სწავლობენ და ასწორებენ მარშუტებს.

მარშუტის ქეშის შიგთავსი

კვანძის ქეშის შესრულების ხარისხის ძირითადი საზომი არის კვანძის ქეშში მოძებნილი სწორი ქეშირებული მარშუტის რაოდენობის პროცენტული მაჩვენებელი. ეს საზომი არის ფუნქცია კვანძის ქეშში კარგი არხების პროცენტული მაჩვენებლისა და მთლიანად ქეშში მოხვედრილებთან. როგორც იყო მოსალოდნელი, ქეშში ყველა ცუდი არხი გამოწვეულია კვანძის მოძრაობით და იმ შემთხვევაში თუ კვანძი უმოძრაოა ცუდი არხების რაოდენობა შესაბამისად 0%-ის ტოლია. წარმომქმნელ კვანძებს აქვს ქეშში არხების უფრო

დიდი რაოდენობა, იმისთვის რომ მიიღოს მარშრუტის პასუხის პაკეტები სხვა კვანძებისგან მარშრუტის აღმოჩენის შესრულების დროს, ხოლო გადამგზავნ კვანძებს მხოლოდ ესმით მარშრუტის პასუხები რომელიც მოძრაობას მათ შორის წარმომქმნელი კვანძისკენ. ის, რომ სხვაობა მცირეა ამტკიცებს, რომ მარშრუტის აღმოჩენა წარმატებით ამუშავებს გადამგზავნი კვანძების ქეშს.

იმის დასადგენად, თუ რამდენად სასარგებლოა მარშრუტის კვანძების ქეშირება, სიმულაციების საშუალებით გამოვთავლე ყოველი კვანძისთვის ქეშში მოხვედრის წილი, რომელიც ნაჩვენებია 3.9 ცხრილში. როგორც ადრე აღვწერეთ, კვანძები გამოიყენებენ თავის ქეშს პაკეტის შექმნისას, როცა გადასაწყვეტია უნდა დაბრუნდეს ქეშირებული პასუხი მიღებული მარშრუტის მოთხოვნის პასუხად თუ უნდა განცალკევდეს. წარმომქმნელ კვანძებს აქვს მნიშვნელოვნად მაღალი მოხვედრის წილი ვიდრე გადამგზავნ კვანძებს, რადგან ქეშში ძიების დიდი უმრავლესობა წარმომქმნელი კვანძებისთვის არის პაკეტის დანიშნულების ადგილის ძიება მარშრუტის აღმოჩენისთვის. მოხვედრის წილი გადამგზავნი კვანძებისთვის მგრძობიარეა როგორც გეომეტრიულ სივრცესთან, ასევე კომუნიკაციის მოდელთან, რადგან კვანძის მოხვედრის წილი გაიზრდება თუ მარშრუტის მოთხოვნა რომელსაც მოითხოვს არის ახლო სივრცულ სიახლოვეზე და შემცირდება როცა მარშრუტის მოთხოვნება დამუშავდება მისგან შორეულ კვანძებზე. გადამგზავნ კვანძებს მართკუთხა მონაკვეთზე აქვთ საშუალო არადატვირთული კვანძების წილი მხოლოდ 77%, რაც ცოტაა და შეთავსებულია მოთხოვნისამებრ მარშრუტის აღმოჩენის ფილოსოფიასთან: არ არსებობს მიზეზი რომ გქონდეს მარშრუტი თუ არ ქმნი პაკეტებს ამისთვის. კვარდატულ მონაკვეთზე, საშუალო რაოდენობა არადატვირთული კვანძებისა ზრის 62%, რადგან კვანძების უფრო ნაკლები რაოდენობა არის უფრო ახლოს და უფრო გავრცელებულია ცოდნა რადგან კვანძებს ესმით დიდი რაოდენობით საჭირო სათავე მარშრუტების, რომელსაც ამატებენ თავიანთ მარშრუტის ქეშში.

მარშრუტის პასუხების ხარისხი

ქსელში კვანძები გამოიყენებენ თავიანთ ქეშს მარშრუტის პასუხის პაკეტების გენერირებისთვის სხვა კვანძების მარშრუტის აღმოჩენის საპასუხოდ, მარშრუტის მოთხოვნების გავრცელების შესაზღვრულად. გამომდინარე იქიდან რომ კვანძის ქეშში მონაცემები შეიძლება იყოს მოძველებული, ისმევა შეკითხვა თუ რამდენად ბინძურდება ქეში როდესაც მარშრუტის აღმოჩენის პროცესში ინიციატორს უბრუნდება ცუდი პასუხი. მე შევავსე ამის სტატისტიკა სხვადასხვა DSR სცენარების საშუალებით, რისი შედეგებიც გამოსახულია ცხრილში 3.9 ნომინალად გამოვიყენე 250 მეტრი რადიო გადაზიდვის არეში არხების «სიკარგის» შესაფასებლად ჩემს სიმულაციაში, შედეგად მარშრუტის აღმოჩენის ინიციატორის მიერ მიღებული 40% მარშრუტის პასუხი შეიცავდა მარშრუტებს რომელიც გამოყენების შემთხვევაში არ იმუშავებდა.

ის რომ მარშრუტის პასუხების 40% შეიცავდა გაფუჭებულ მარშრუტებს არ არის გასაკვირი, თუ გავითვალისწინებთ ქეშში ინფორმაციის შესწავლის მექანიზმს და რატომ არის მარშრუტის აღმოჩენა ინიცირებული. მარშრუტის აღმოჩენა სრულდება როცა კვანძს უნდა პაკეტის ისეთ დანიშნულების ადგილამდე მიწოდება, რომლის მარშრუტი მისთვის უცნობია. ეს შეიძლება მოხდეს იმის გამო, რომ კვანძს ჯერ არასდროს ჰქონია მარშრუტი აღნიშნულ დანიშნულებამდე, ან მარშრუტი ბოლო დანიშნულების ადგილამდე იყო გაფუჭებული, ხშირად ეს შეიძლება იყოს გამოწვეული ძირითადი ქსელის ტოპოლოგიის ცვლილებით რომელმაც გადააკეთა მისაწვდომი მარშრუტები დანიშნულების ადგილამდე. რადგან ბევრი კვანძს ექნება ქეშირებული მარშრუტი ამ დანიშნულების ადგილამდე საერთო არხებით, ერთერთი ასეთი არხის გაფუჭებამ შეიძლება გამოიწვიოს ამ მისამართისთვის ბევრი ქეშირებული პასუხი იყოს ცუდი. ჩემს მიერ ჩატარებულ DSR-ის სიმულაციაში, უდიდესი უმრავლესობა მარშრუტის პასუხის პაკეტების დაფუძნებულია ქეშირებულ მონაცემებზე და მხოლოდ 59% ამ პასუხებს შეიცავს სწორე მარშრუტებს. აქედან გამომდინარე, კვანძების ქეშში არხების 84% არის კარგი, სიმულაციაში

ალბათობა იმის, რომ გადაგზავნილი კვანძის ქეშიდან მიღებული მასშტაბი არის კარგი შეადგენს 56%-ს. მიზნისგან მიღებული პასუხის კი არ არის 100%-ით სწორი რაგდან მარშრუტი შეიძლება შეიცვალოს სანამ პასუხი ბრუნდება მომთხოვნამდე.

როგორც არ უნდა იყოს, ფაქტი რომ ბევრი კვანძი იზიარებს ცუდ ინფორმაციას, საშუალებას იძლევა რომ ეს ცუდი არხები იყოს დროულად ამოღებული მათი ქეშიდან მარშრუტის მომსახურების მიერ, განსაკუთრებით თუ გამოყენებულია Gratuitous ROUTE ERRORS ოპტიმიზაცია. სწრაფი მოშორება კი თავად საშუალებას აძლევს DSR-ს რომ შეინარჩუნოს პაკეტის მიღების მაღალი თანაფარდობა.

თუ ქეშიდან პასუხის გაცემა არის გამორთული და მხოლოდ გავრცელებული მარშრუტის მოთხოვნები არის გაგზავნილი, ჯამში 8,413 მარშრუტის პასუხი მიიღება ინიციატორის მიერ, რომლიდანაც 93% არის კარგი. ქეშიდან პასუხის გაცემის მექანიზმის გათიშვის შემთხვევაში მნიშვნელოვნად იზრდება ინიციატორის მიერ მიღებული მუშა მარშრუტების რიცხვი, ასე იზრდება ზედნადები და დაყოვნება.

ის ფაქტი, რომ DSR აგრძელებს მაღალი პაკეტების მიღების ფარდობის ქონას, მაშინაც კი როცა მარშრუტების აღმოჩენის მიერ დაბრუნებული მარშრუტების 40% არის არასწორი, ამტკიცებს იმას რომ მარშრუტის მომსახურება არის შესრულებული იმდენად კარგად, რომ ცუდი გზების აღმოჩენა და გავრცელება არ იწვევს ცუდი მარშრუტების ხანგრძლივად მოხმარებას.

	# პასუხი	% კარგი
მიზანმიმართული	119	95.2 %
ქეშიდან	6809	59.4%
ჯამი	6928	60.0%

ცხრილი 3.9 ზუსტი მარშრუტების წილი, რომელებიც დაბრუნდენ მარშრუტის შესწავლის შედეგად.

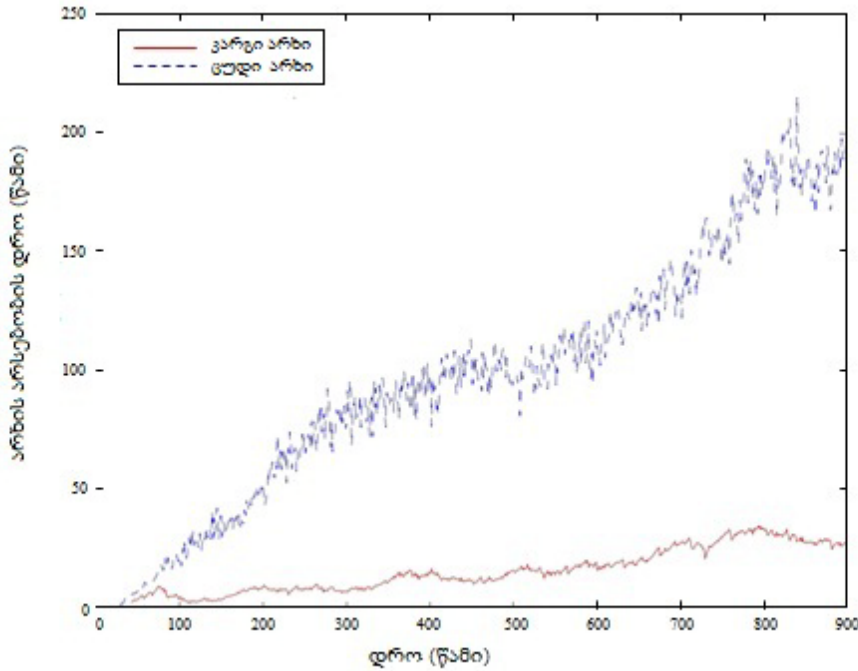
ქეშებში არსებული მარშრუტიზაციის ჩანაწერების სიზუსტის შესწავლა

სტანდარტული სტრატეგია ქეშინგის მეთოდებში არის შემდგომი, რაც ახალია ინფორმაცია მით უფრო ზუსტი და გამოყენებადი არის. DSR არ იყენებს ამ კონცეფციას. DSR გულისხმობს რომ მარშრუტები შეიძლება იყვნენ გამოყენებადი მანამ სანამ არ გარიკვევა რომ ინფორმაცია მცდრია, რის შემდეგაც მარშრუტები მყისიერად იშლებიან.

ჩვენ განსაზღვრეთ ასაკის ფაქტორი რომ მარშრუტზე დაფიქსირებული მისი ქეშში არსებობის დრო. თუ ასეთ მარშრუტზე მოვიდოდა მოთხოვნა მაშინ მისი არსებობის დრო უნდა განულდეს. აღნიშნული ოპერაციით ვიგებთ ამ ლინკის სანდობას. ყოველ შემთხვევაში თუკი ახალი მოსული პაკეტი გამოიყენებს არსებულ ლინკს, მიზანშეწონილია რომ გავანულთ მისი არსებობის დრო, რადგანაც ქეშში ახალი და ზუსტი ინფორმაცია ინახებოდეს. მარშრუტიზაციის მოთხოვნისას მთვლელის განულება არ ხდება, იმიტომ რომ ეს არ ნიშნავს რომ არხი სანდოა, მთვლელის განულება ხორციელდება მხოლოდ მაშინ როდესაც პაკეტი წარმატებით გამოიყენებს მარშრუტს. იმისთვის რომ შეგვეფასებინა ეს მახასიათებელი ჩვენ ჩავატარეთ ტესტი სადაც ვამოწმებდით არხებისა და მარშრუტიზაციის სისწორეს.

ნახაზ 3.3-ზე ნაჩვენებია საშუალო კარგი და უვარგისი არხების

შედარება. სიმულაცია მიმდინარეობა 1000 წამის განმავლობაში. კვანძების გადაადგილება ხდებოდა შემთხვევითი ხეტიალის გადაადგილების მეთოდის მიხედვით. რადგანაც მარშრუტიზაციის ოქმი არ არის აქტიურად ჩაბმული ცუდი და კარგი არხების ამოცნობაში, აქ აღმოჩენილი არის ის არხები რომლებიც მარშრუტის მომსახურების დროს დაფიქსირდა კვანძის მიერ.



ნახაზი 3.3 მარშრუტიზაციის ქეშში ინფორმაციის სიზუსტე

ჩვენ სცენარში განხილული ნაკადების და გადაადგილებების მიხედვით, შეგვიძლია ვიხილოთ ნათელი მაგალითი კარგ და ცუდ არხებს შორის, მარშრუტის ასაკის მიხედვით. როდესაც სიმულაცია მიმდინარეობს, კარგი არხების ასაკი რჩება ყოველთვის 40 წამზე ქვემოთ, ხოლო უვარგის არხი ან ქრება და ან მისი ასაკი მაღალია, საშუალოდ ყოველი არხი, რომლის არსებობა იყო 45 წამზე მეტი იყო უვარგისი. ეს მაგალითი კი გვეუბნება იმას რომ ქეშის ჩანაწერებს ვადა უნდა გაუვიდეთ, რადგანაც რაღაცა სიდიდის შემდეგ ისინი უვარგისები არიან, და მეორეც ისინი ტყულად ხარჯავენ კვანძის რესურსებს. მნიშვნელოვანია რომ წინასწარ შესწავლილ იქნას ეს ზედა ზღვარი და შემდეგ

მასზე დამოკიდებულებით შეიჩევს ვადის გასვლის საზღვარი.

წარმოდგენილმა მაგალითმა აღნიშნა რომ ასეთ მუდმივ გადაადგილებად და ცვლილებად გარემოში, მნიშვნელოვანია თითოეულ მარშრუტს მიენიჭოს ასაკი და იქნას შესწავლილი მისი ასაკის დამოკიდებულება ინფორმაციის სისწორესთან, უკეთესია რომ შეისწავლოს ის ზედა ზღვარი, რომლის შემდეგაც ინფორმაცია არის ყალბი და შემდეგ მოხდეს მარშრუტიზაციის ალგორითმზე მორგება ამ ზედა ზღვარის. აღნიშნული ცვლილება მნიშვნელოვნად დახვეწავს ქსელის საერთო მუშაობას და ხარისხს.

§3.9 თავის შეჯამება

ამ თავში წარმოდგენილი და დეტალურად განხილული იყო მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციის ოქმები, შეფასებული იყო მათი მუშაობა და წარმოდგენილი იყო თუ რა მეთოდებით შეუძლიათ რომ ებრძოლონ იმ გამოწვევებს რომლებიც გვხვდება ქსელებში. ქვემოთ განხილულია 4 ფუნდამენტური პრობლემა რომლებიც იყო წარმოდგენილი. DSR-მა მოგვაწოდა კარგი მაგალითები აღნიშნულ კვლევაში, იმიტომ რომ იგი მთლიანად დამოკიდებულია მოთხოვნისამებრ მახასიათებელზე და შედეგებში არავითარ შეხებაში არა არის პერიოდული მახასიათებლები ან რაიმე აქტივობა ქსელში. აქტივობა არის მხოლოდ მაშინ როცა წყარო მოითხოვს პაკეტის გადაცემას.

ქვემოთ წარმოგიდგენთ მიმოხილვას ნახსენები 4 პრობლემის

- მარშრუტიზაციის დაყოვნება არის მნიშვნელოვანი და მას შეიძლება მოყვეს შემდეგი ტენდენციები.

მოთხოვნები ისეთი მარშრუტებისა რომლებიც იქამდე არ იყო გაგონილი ქსელში, გამოიწვევს რომ დაყოვნება გამოვა დამოკიდებული იმ მანძილზე რისი გავლას მოუწევს პაკეტს გადამცემიდან დანიშნულებამდე. მარგამ მარშრუტიზაციის ქეშების გამოყენება არის მომხიბვლელი გადწყვეტა

დაყოვნებების შემცირებაში და დაყოვნების პირდაპირ პროპორციულ დამოკიდებულების უარყოფაში გამგზავნიდან დანიშნულებამდე. არსებულ ოპციას აქვს თავისი მინუსებიც, კერძოდ ის რომ ქეშირებული ინფორმაცია შეიძლება იყოს ვადაგასული. როგორც შედეგებიდან ჩანს მარშრუტიზაციის დაყოვნების მაჩვენებლები შემცირდა 40 მილიწამამდე როდესაც მარშრუტიზაციის ქეშები იყო ჩართული. ის ცვლილებები რასაც ვიღებთ მარშრუტის შესწავლისას ძირითადად დამოკიდებული არის იმ კვანძების დატვირთულობაზეც რომლის გავლაც მარშრუტიზაციის საკონტროლო პაკეტებს უწევდა. შემდგომმა კვლევებმა უნდა გააანალიზონ ამ ფაქტორის დამოკიდებულებაც საერთო და უფრო ოპტიმალური გზის მისაღებად.

- მარშრუტიზაციის შესწავლის ღირებულება შეიძლება დამოკიდებული იყოს არაგავრცელებადი მოთხოვნების და მარშრუტიზაციის ქეშების მცნებაზე.

განმარტებული იყო ორი მეთოდი, მარშრუტიზაციის მოთხოვნა არაგავრცელებადი მეთოდით, როდესაც კვანძი უგზავნიდა მარშრუტის მოთხოვნის მესიჯებს მხოლოდ მეზობლებს და მარშრუტიზაციის ქეშების მეთოდი, როდესაც ყოველი შუამავალი კვანძი თუ კი მას ჰქონდა მარშრუტი დანიშნულების ადგილამდე თავის ქეშში, მყისვე უგზავნიდა მარშრუტზე პასუხს პაკეტის გამომგზავნს. შედეგებმა გვიჩვენა რომ ორივე მეთოდის გამოყენებამ დადებითი გავლენა იქონია ჩვენს შედეგებზე. როდესაც ვიყენებდით პარალელურად ისინი ამცირებენ საერთო დაყოვნების დროს. ჩვენ 50 კვანძიან ქსელში ჩვენ შევამცირეთ დაყოვნება 403 მილიწამიდან 40 მილიწამამდე და მარშრუტის შესწავლისას თუკი იხარჯებოდა 101 პაკეტი, შევამცირეთ 17 პაკეტამდე, ასევე იმ კვანძთა რაოდენობა, რომლებიც არ იღებდნენ მონაწილეობას პაკეტების გაგზავნაში გაიზარდა 10 პროცენტიდან 68 პროცენტამდე.

- მარშრუტიზაციის გასწორებები ყოველთვის არ იწვევენ პაკეტის დაკარგვას. აღმოჩნის ოპტიმიზაციის მეთოდები იცავს პაკეტის დაკარგვისაგან ქსელს 60% შემთხვევებში, მაშინაც კი როდესაც ხდება ჩავარდნა, როგორც წესი ძალიან მცირე პერიოდით და 80%-ზე მეტ შემთხვევაში ჩავარდნილი პაკეტების

რაოდენობა ნაკლებია 2 ზე

- მარშრუტიზაციის ქეშს შეუძლია მოიპოვოს სასარგებლო ინფორმაცია ქსელისთვის რაც გავლენას იქონიებს ქსელის მთლიანი მუშაობის ოპტიმიზაციაზე. შუამავალი კვანძები ხშირ შემთხვევაში ფლობენ საკმარის ინფორმაციას რომ მოემსახურონ და თვითონვე უპასუხონ წყაროს მიერ გამოგზავნილ მარშრუტიზაციის მოთხოვნის პაკეტებს, 60% შემთხვევაში კვანძებს ჰქონდათ ინფორმაცია მარშრუტის ქეშში დანიშნულების ადგილის შესახებ. ეფექტური მარშრუტის მომსახურება არის კრიტიკული თითოეული კვანძისთვის და მარშრუტის ქეშის ინფორმაციისათვის, 16 % შემთხვევაში აღმოჩნდა რომ მარშრუტის ქეშში ინახებოდა ძველი ინფორმაცია, ხოლო 41% მარშრუტიზაციის პასუხის მესიჯებისა შეიცავდა გზაში გაფუჭებულ მარშრუტს. მექანიზმები როგორც DSR შეუძლია რომ ებრძოდეს ამდაგვარ პრობლემებს. აღსანიშნავია რომ 90% მეტი პაკეტები მივიდა წარმატებით. ეს დემონსტრირებას ახდენს იმისას რომ მოთხოვნისამებრ მახასიათებელი არის ძალიან ეფექტური, იმ შემთხვევაშიც კი თუკი შუამავალ კვანძებს გააჩნიათ მოძველებული ინფორმაცია.

აღსანიშნავი და ყურადსაღებია მარშრუტიზაციის ქეშში სასარგებლო ინფორმაციის ქონა. სიმულაციის დროს გაირკვა რომ თუკი მარშრუტის არსებობა 45 წამზე მეტი იყო, მაშინ ასეთ ინფორმაცია ყოველთვის მცდარი იყო.

უფრო ზოგადი დასკვნა ამ თავში არის ის რომ თითოეული კომპონენტი მარშრუტიზაციის ოქმისა უნდა შესწავლილ იქნას, მოძიებული უნდა იყოს როგორ დამოკიდებულებაში არიან ისენი ერთმანეთთან და რა ცვლილებებს განაპირობებენ. რა გავლენა შეიძლება მათ იქონიონ საბოლოო მუშაობაზე და შემდგომში რა შეგვიძლია რომ დავნერგოთ მივამატოთ არსებულ ოქმს.

თავი 4

მარშრუტიზაციის ოქმების შედარებითი ანალიზი

ამ თავში ჩვენ განვახორციელებთ შედარებით ანალიზს, DSR-სა და AODV მარშრუტიზაციის ალგორითმებს შორის, ეს უკანასკნელი აგრეთვე გვევლინება მოთხოვნისამებრ მარშრუტიზაციის ალგორითმად. სიმულაცია განვახორციელებთ საიმიტაციო პროგრამული უზრინველყოფა NS2 ის საშუალებით

შერჩეულ იქნა ორი ტიპის ტოპოლოგიის მოდელი: სტატიკური და დინამიური. სტატიკური ტოპოლოგიის შემთხვევაში მოდელირება ხორციელდება გადამცემებით და ფიქსირებული მიმღებებით, რომლებიც შესწავლისას შემთხვევითაა განლაგებული დაფარვის ზონაში.

დინამიური ტოპოლოგიის შემთხვევაში მოდელირება ხორციელდება მოძრავი გადამცემებით და მიმღებებით, რომლებიც შემთხვევითაა განლაგებული დაფარვის ზონაში და შემთხვევით გადაადგილდება ამავე ზონაში.

მოდელირების პირობები

- დაფარვის არე: 1000m x 1000m ;
- კვანძების რაოდენობა: 50;
- რიგის სიგრძე: 50 და მისი ტიპი FIFO (First In, First Out «პირველი მოდული, პირველი წავიდა »);
- ქსელი: უსადენო (Wireless არხი, ფიზიკური ინტერფეისი, ყველა მიმართულებით გამომსხივებელი ანტენა);
- დაგზავნა: 512 ბაიტის ზომის პაკეტების მუდმივი ბიტრეიტით (CBR - Constant Bit Rate) წამის ყოველ მეათედში 30 წამის განმავლობაში;
- კვანძების განთავსება: შემთხვევითი;
- გამომსხივებელთა რაოდენობა: იცვლება იმისთვის, რომ შევისწავლოთ პროტოკოლების ქცევა მათი რაოდენობის შესაბამისად;

- დინამიკური რეჟიმი: ყოველი კვანძი ირჩევს დანიშნულების პუნქტს და გადაადგილდება ამ პუნქტისაკენ არჩეული სიჩქარით, რომლის მნიშვნელობებია 0მ/წმ - 10 მ/წმ შუალედში, ხოლო დანიშნულების ადგილზე მისვლის შემდეგ კვანძი აკეთებს პაუზას 5 წამით.

მარშრუტიზაციის ალგორითმი

პროაქტიული – აწარმოებს შემოწმების პაკეტების გაცვლას და ახორციელებს მარშრუტიზაციის მუდმივ განახლებას.

რეაქტიული – არ გააჩნია მარშრუტიზაციის გამჭოლი ცხრილები და ასეთ ცხრილებს იღებს მხოლოდ მოთხოვნის შემთხვევაში.

DSR და AODV პროტოკოლები რეაქტიულია, ისინი უშუალოდ იმართება იმიტატორით.

DSR (Dynamic Source Routing) ალგორითმი

DSR - რეაქტიული პროტოკოლია, რომელიც გამოიყენება მცირე დიამეტრისა (5-10 ჰოპის რიგის) და ზომიერი სისწრაფის Ad hoc ქსელებში. გზა განისაზღვრება წყაროს მიერ დანიშნულების ადგილის მიმართულებით. ყოველი გადაკვეთილი შუალედური კვანძის მისამართი იწერება პაკეტში.

პროტოკოლში წარმოდგენილია ორი ფაზა: გზის ძიება და გზის მომსახურება. საძიებლად გადამცემი აგზავნის RouteRequest პაკეტს და ავსებს ქსელს. ერთ-ერთი ასეთი პაკეტის მიღებისას კვანძი გარემოებათა მიხედვით სხვადასხვანაირად რეაგირებს. თუ კვანძი მიმდებია, იგი აბრუნებს RouteReply პაკეტს, რომელიც გზას შეიცავს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, კვანძი ან უკვე იცნობს ამ პაკეტს (მისი მისამართი მითითებულია პაკეტში) და მაშინ იგი ამოაგდებს ამ პაკეტს, ან პაკეტი პირველად აღწევს კვანძს. მაშინ ამ კვანძს შეაქვს თავისი მისამართი გზაში (Route Record) და გაიძულებთ მისდიოთ ამ პაკეტს.

გზის უზრუნველყოფის კონცეფცია, რომელსაც DSR პროტოკოლი იყენებს, მარტივია: ყოველ კვანძს ევალება მომდევნო კვანძებში გადაცემა. თუ ამ მიმდევრობაში პაკეტის გადაცემისას მტყუნება იჩენს თავს, კვანძი უგზავნის

გადამცემს RouteError მოთხოვნას. გადამცემი აუქმებს ამ გზას და ან სხვაგვარად იყენებს მას, ან ახლის ძებნას იწყებს.

AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector) ალგორითმი

AODV – ასევე რეაქტიული პროტოკოლია. DSR პროტოკოლისაგან განსხვავებით, AODV პროტოკოლის მიდგომა ეყრდნობა მარშრუტიზაციის ცხრილის კონსტრუირებას. მართლაც, ყოველ კვანძს გააჩნია მარშრუტიზაციის თავისი ცხრილი, რომელიც შეიცავს თითოეული მიმდებისათვის უახლოეს კვანძს კონტაქტის დასამყარებლად.

გზის ძებნა იწყება იმით, რომ გადამცემი ავსებს ქსელს RREQ პაკეტით. ერთ-ერთი ასეთი პაკეტის მიღებისას, თუ კვანძმა იცის გზა წყაროსკენ, იგი უგზავნის RREP პასუხს გადამცემს, რომელიც წყვეტს ქსელის ავსებას. თუ კვანძმა გზა არ იცის, იგი გადასცემს პაკეტს თავის მეზობლებს და დაიმახსოვრებს წინა კვანძს, რომელმაც მოთხოვნა გამოუგზავნა.

კავშირის გაწყვეტის შემთხვევაში ეგზავნება RERR შეტყობინება გადამცემს, რომელიც იღებს გადაწყვეტილებას: განახლდეს თუ არა პაკეტის დაგზავნა გზის გამოყენების დონის შესაბამისად.

§4.1 სტატიკური Ad hoc ქსელის კვლევა

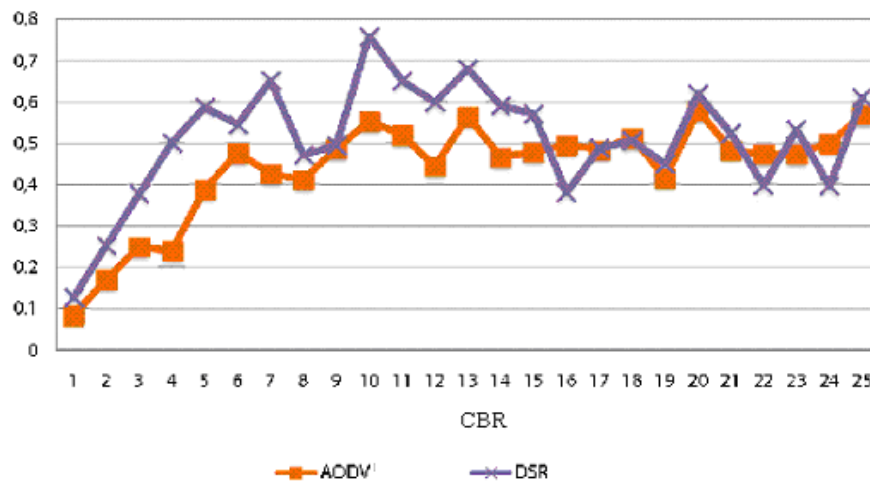
ყველა კვანძი მოდელირების პროცესში დაფიქსირებული რჩება, მას შემდეგ რაც განლაგების არჩევა შემთხვევითად ხდება. კვანძების შემთხვევითი განლაგება ხორციელდება სპეციალურად შემოღებული ცვლადი სიდიდის საშუალებით.

DSR პროტოკოლისათვის რიგის ტიპის შეცვლა მოხდა და FIFO ფაილი შეიცვალა CMUPriQueue ფაილით, რადგან FIFO ფაილის გამოყენება DSR პროტოკოლთან სისტემის შეცდ-ომას იწვევდა.

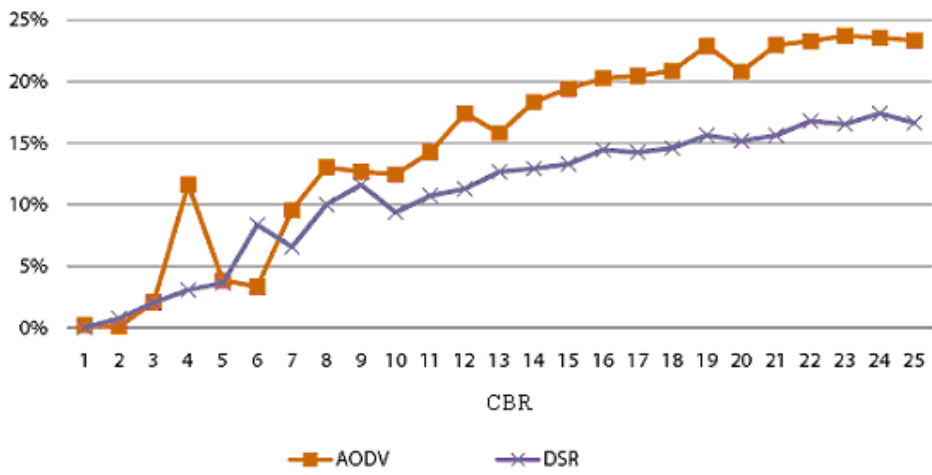
გადამცემი კვანძების შემთხვევით არჩევაზე უარი ითქვა, რადგან კვანძთა სიმრავლის განლაგების თავდაპირველი არჩევა უკვე შემთხვევითი იყო.

§4.2 პროტოკოლების შეფასების პარამეტრები

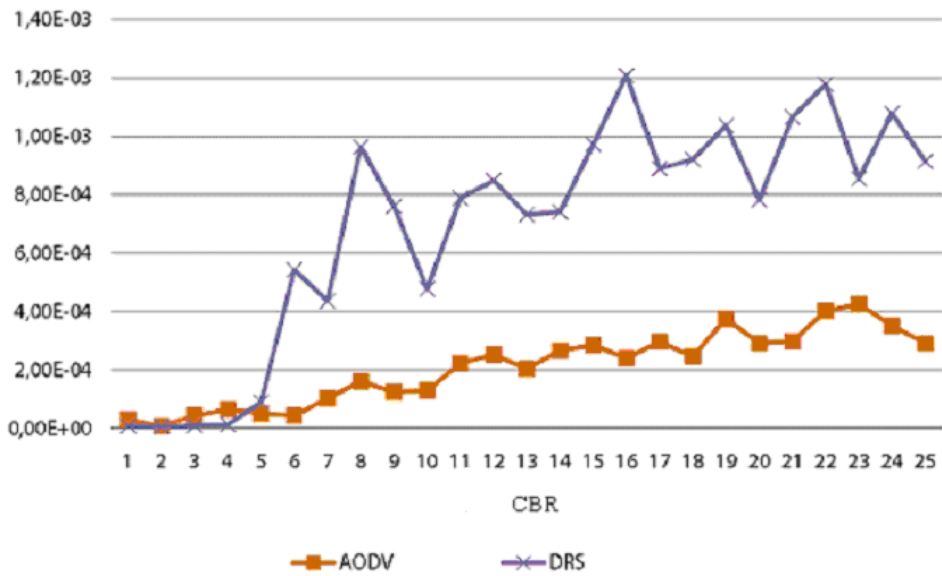
- გატარების საშუალო უნარი (throughput): დანიშნულების კვანძს მიღწეული პაკეტების რიცხვის ფარდობა გადაცემული პაკეტების საერთო რიცხვთან;
- საშუალო დაყოვნება (packet delay): დროის შუალედი მოცემული კვანძის მიერ პაკეტის გაგზავნის მომენტიდან მიმდებ კვანძამდე მისი მისვლის მომენტამდე;
- დატვირთულობა: გამომსხივებელ კვანძთა რიცხვი ქსელში დროის მოცემული მომენტისათვის.



ნახაზი 4.1 გატარების საშუალო უნარი



ნახაზი 4.2 შეტყობინების დაკარგვის ალბათობა



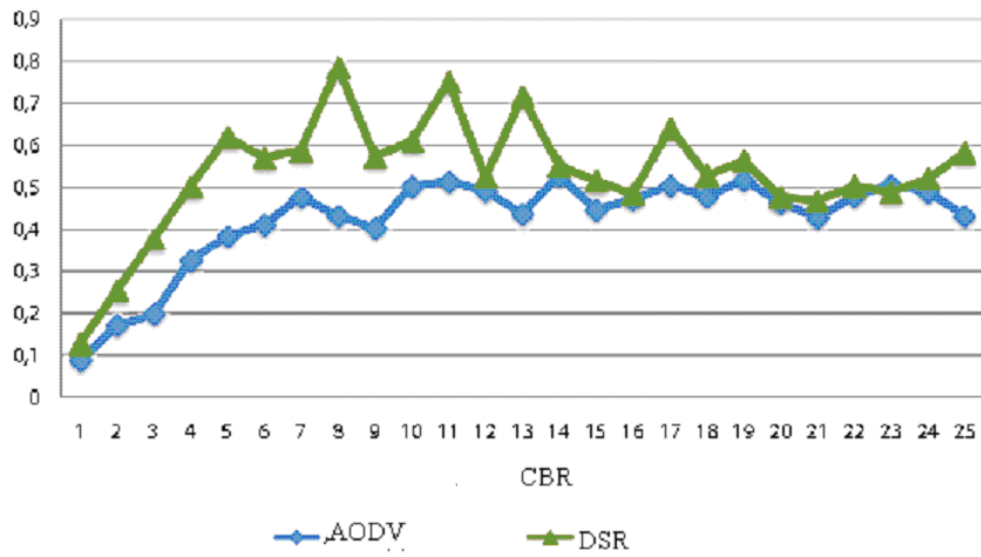
ნახაზი 4.3 საშუალო დაყოვნება

დასკვნები სტატიკური Ad hoc ქსელისათვის

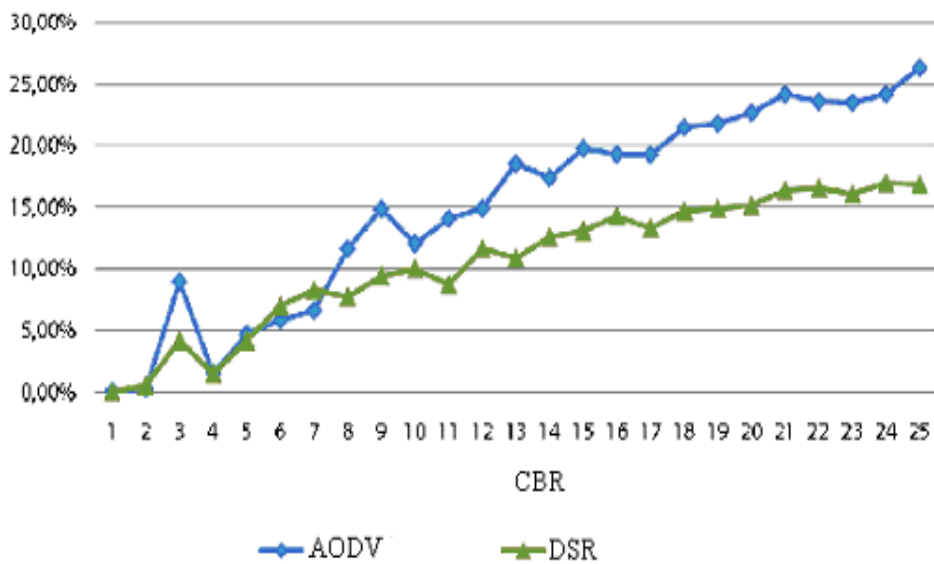
- DSR უკეთესია AODV-ზე ემიტერთა მცირე რაოდენობის ტოპოლოგიისათვის.
- AODV უკეთესია ემიტერთა მნიშვნელოვანი რაოდენობის ტოპოლოგიისათვის, თუმცა პაკეტების დაკარგვის ალბათობა AODV პროტოკოლის შემთხვევაში უფრო მაღალია.

§4.3 დინამიური Ad hoc ქსელის კვლევა

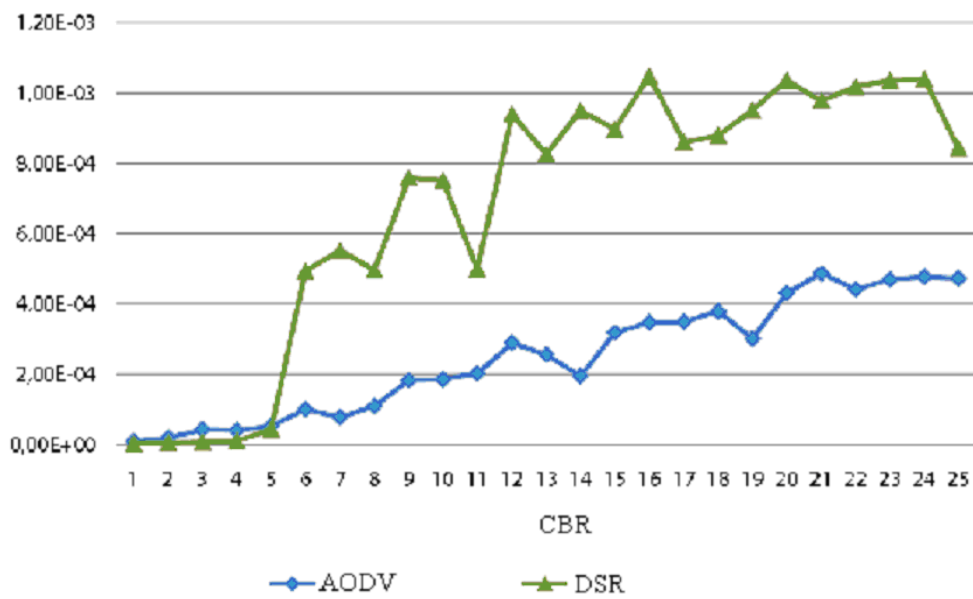
- დინამიკურ რეჟიმში ყველა კვანძი მოდელირების დროს გადაადგილდება.
- კვანძთა შემთხვევითი გადაადგილება ხორციელდება ხერხით, რომელიც განსხვავებულია ჩვეულებრივისგან.
- შემოტანილია პროცედურა, რომელიც საშუალებას იძლევა ვიწინასწარმეტყველოთ კვანძის მისვლის მომენტი დანიშნულების ადგილზე სიჩქარისა და მანძილის საფუძველზე.
- კვანძის დანიშნულების ადგილის მდებარეობა განისაზღვრება ისევე, როგორც კვანძის ადგილმდებარეობა მესერზე, რადგან აქ საუბარია მესრის წერტილზე.
- ჩვენ გვაქვს კვანძის მიმდინადად ადგილმდებარეობა და მისაღწევი ადგილმდებარეობა, ასევე კვანძის გადაადგილების სიჩქარე. მიღწევის მომენტი ადვილად დგინდება.
- ამ მომენტში, რომელსაც მოსდევს ხუთწამიანი პაუზა, ჩვენ ვითხოვთ NS2 სისტემისგან განახორციელოს ახალი მიმართვა ამ პროცედურისადმი, რათა განისაზღვროს კვანძის ახალი გადაადგილება. ეს გადაადგილება პროცედურის პარამეტრში შედის.
- ამრიგად, ჩვენ შეგვიძლია იმდენი გადაადგილება განვახორციელოთ, რამდენიც ეს შესაძლებელია მოდელირების იმ დროში, რომელიც სცენარშია მითითებული.



ნახაზი 4.4 გატარების საშუალო უნარი



ნახაზი 4.5 შეტყობინების დაკარგვის ალბათობა



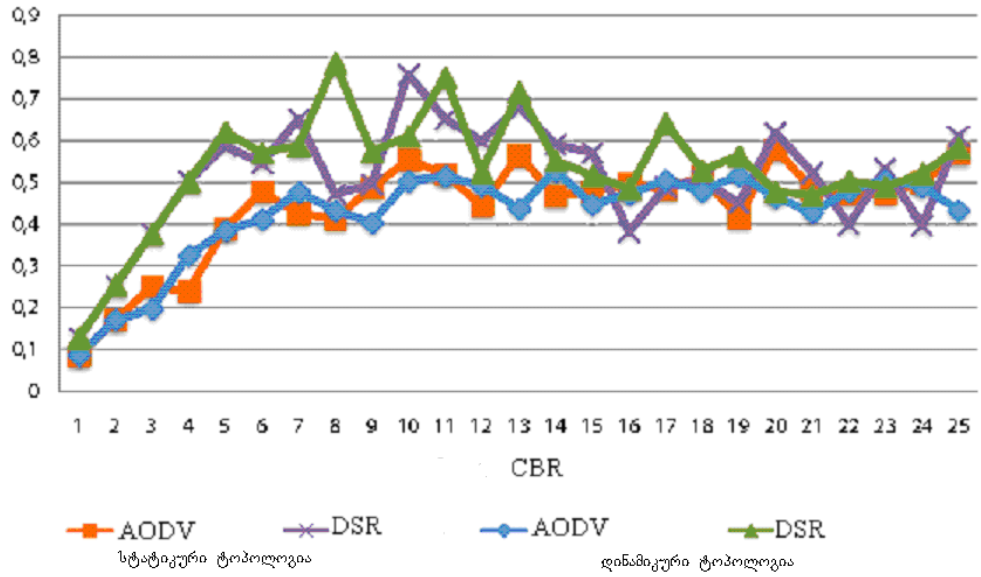
ნახაზი 4.6 საშუალო დაყოვნება

დასკვნები დინამიკური Ad hoc ქსელისათვის

- DSR პროტოკოლი AODV-ზე უფრო მიესადაგება ტოპოლოგიებს გამომსხივებლების მცირე რაოდენობით. AODV პროტოკოლი უფრო მიესადაგება ტოპოლოგიებს გამომსხივებლების მნიშვნელოვანი რაოდენობით, და ეს მიუხედავად იმისა, რომ პაკეტების დაკარგვის ალბათობა დიდია.

ორი ტოპოლოგიის შედარებითი ანალიზი

განხილული ტოპოლოგიების შედარებითი ანალიზის გასაღრმავებლად აქ მოტანილია გრაფიკები, რომლებშიც DSR და AODV პროტოკოლები ერთდროულადაა ასახული როგორც სტატიკური, ასევე დინამიკური ტოპოლოგიებისათვის.

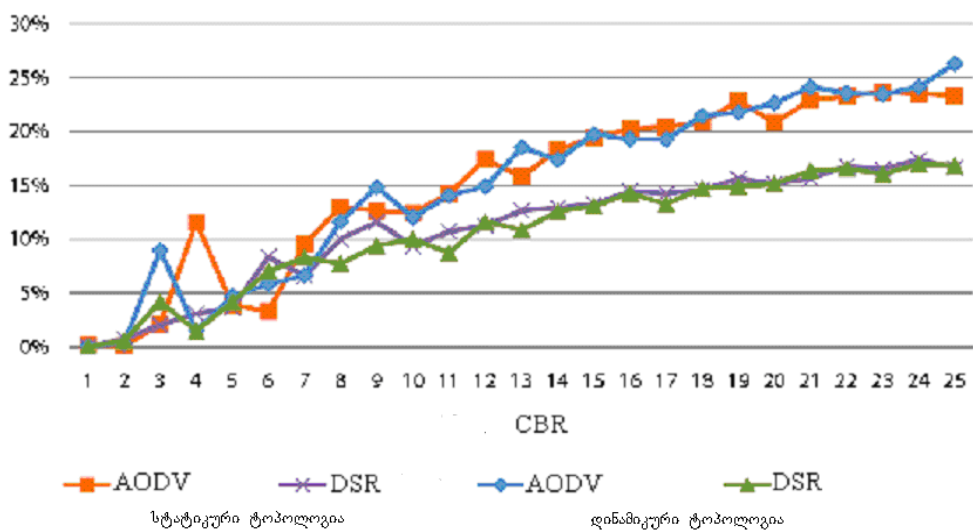


ნახაზი 4.7 გატარების საშუალო უნარი

§4.4 დასკვნები

დასკვნა პირველი

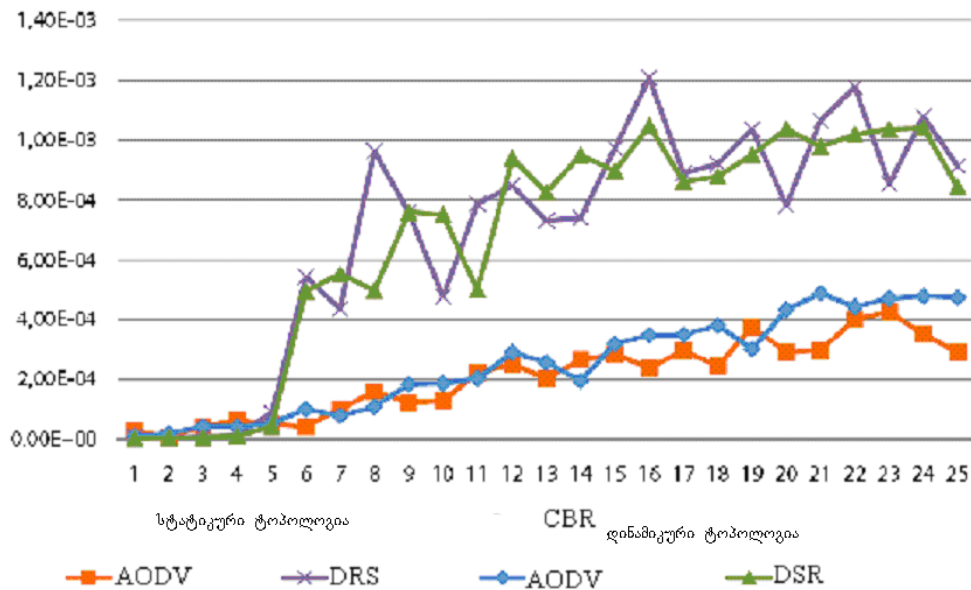
DSR პროტოკოლი უზრუნველყოფს გატარების უფრო დიდ საშუალო უნარს ქსელის უმნიშვნელო დატვირთულობის შემთხვევაში, როგორც სტატიკურ, ასევე დინამიკურ რეჟიმებში.



ნახაზი 4.8 შეტყობინების დაკარგვის ალბათობა

დასკვნა მეორე

პაკეტების დაკარგვის ალბათობა უფრო მნიშვნელოვანია AODV პროტოკოლისათვის, როგორც არ უნდა იყოს ფუნქციონირება – სტატიკური, თუ დინამიკური.



ნახაზი 4.9 საშუალო დაყოვნება

დასკვნა მესამე

საშუალო დაყოვნება ყოველთვის უფრო მნიშვნელოვანია DSR პროტოკოლისათვის, თუ ქსელის დატვირთულობა გარკვეულ რიცხვს (ჩვენს შემთხვევაში, 5-ს) აღემატება.

განზოგადებული დასკვნები

- განსხვავება AODV და DSR პროტოკოლებს შორის უმნიშვნელოა. მაგრამ უმჯობესია DSR პროტოკოლის გამოყენება, თუ გარანტირებულია, რომ ქსელის დატვირთულობა (გადამცემთა რაოდენობა) მცირე იქნება. ეს

დაკავშირებულია იმასთან, რომ ასეთ შემთხვევაში DSR პროტოკოლი გატარების საშუალო უნარის უკეთეს მნიშვნელობას უზრუნველყოფს.

- იმ შემთხვევაში, როცა Ad hoc ქსელი გამომსხივებელთა მნიშვნელოვან რაოდენობას შეიცავს, პროტოკოლის არჩევა მოთხოვნილებათა შესაბამისად ხდება. თუ მოთხოვნილება იმაში მდგომარეობს, რომ ერთი კვანძიდან მეორემდე მიღწევა უმნიშვნელო საშუალო დაყოვნებით ხორციელდებოდეს, მაშინ ასეთ შემთხვევაში უპირატესობა AODV პროტოკოლს უნდა მიეცეს. და პირიქით, DSR პროტოკოლი უკეთესია, თუ პაკეტების დაკარგვის ალბათობა უმნიშვნელო უნდა იყოს.

III დასკვნა

ნაშრომში მიღებულია შემდეგი ძირითადი შედეგები:

1. მობილური ქსელების თანამედროვე პროგრამულ-აპარატული საშუალებების განვითარების ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ადგილი აქვს მომატებულ ინტერესს ახალი ტიპის MANET ქსელისადმი, რომელიც წარმოადგენს დეცენტრალიზებულ მობილურ ქსელს ცვლადი სტრუქტურით. სამუშაოები მოცემულ სფეროში წარმოადგენს აქტუალურ და მოთხოვნად სამეცნიერო-ტექნიკურ კვლევებს.

შესწავლილი და გაანალიზებულია MANET ქსელებში მარშრუტიზაციის ალგორითმების ძირითადი ტიპები და ნიმუშები, რომლებიც მოცემული მომენტისათვის არსებობს. არასპეციალურ (ზოგადი დანიშნულების) ალგორითმებს შორის ყველაზე პერსპექტიულია რეაქტიული, პროაქტიული და შერეული (ჰიბრიდული) ტიპის ალგორითმები.

აღმოჩენილია, რომ ყველა არსებული ალგორითმი დაპროექტებულია ქსელური ტოპოლოგიის შესაძლო თავისებურებათა გაუთვალისწინებლად, რაც ხშირად იწვევს ქსელური რესურსების გაუმართლებელ ხარჯვას.

2. მოდელირება საყოველთაოდ მიჩნეულია ახალი ქსელური პროტოკოლების (დანაწესების) დამუშავებისა და შეფასების ყველაზე უფრო ეფექტურ მეთოდად. პროტოკოლების დამუშავებისას მობილური ქსელებისათვის გადაადგილების (მობილურობის) არჩეული მოდელი ერთ-ერთი საკვანძოა იმ ფაქტორებს შორის, რომლებიც განსაზღვრავს მოდელირების სიზუსტეს. მობილურობის მოდელი მთავარ როლს თამაშობს რეალური მომხმარებლების გადაადგილების იმიტაციისას. თუ გავითვალისწინებთ მობილურობის მოდელების გადამწყვეტ მნიშვნელობას პროტოკოლების რეალისტური და ზუსტი მოდელირების უზრუნველსაყოფად, მაშინ გასაგები გახდება ამ მოდელის არჩევის მნიშვნელობაც. ამიტომ შესწავლილია სტოქასტიკური (შემთხვევითი) მობილურობის მოდელი. იგი აღწერს ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მოძრავ კვანძებს, რაც სავსებით შეესაბამება არსებულ რეალობას. ეს მოდელი

პირველად აღწერილია ჯონსონისა და მალცის მიერ. ჩვენ მიერ გამოკვლეულია ხსენებული მოდელის ორი ვარიანტი, სახელდობრ, შემთხვევითი ხეტიალისა და შემთხვევითი მიმართულების მოდელები და ჩატარებულია მათი შედარებითი ანალიზი.

3. მოდელირებით NS2 ქსელურ სიმულატორზე დამტკიცებულია, რომ უსადენო დეცენტრალიზებული თვითორგანიზებადი (MANET) ქსელის შეფასების მაჩვენებელი შეიძლება მნიშვნელოვნად შეიცვალოს გადაადგილების სხვადასხვა მოდელის შემთხვევაში. ასევე დამტკიცებულია, რომ შეფასების ქსელური მაჩვენებელი არსებითად შეიძლება შეიცვალოს, თუ გადაადგილების ერთი და იგივე მეთოდი სხვადასხვა პარამეტრით გამოიყენება. მაშასადამე, გადაადგილების სტრატეგიის შერჩევა ისეთნაირად უმდა ხდებოდეს, რომ იგი მაქსიმალურად შეესაბამებოდეს რეალურ სიტუაციას.

4. ჩატარებულია ალგორითმების ექსპერიმენტული გამოკვლევა ქსელური გარემოს შექმნილი პროგრამული მოდელების საშუალებით. გამოვლენილია ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებლები, რომლებიც განსაზღვრავს მათ ეფექტურობასა და გამოყენების არეს: სამომხმარებლო ტრაფიკის ინტენსივობა და კვანძებს შორის კავშირების შეწყვეტის ინტენსივობა.

5. ქსელური NS2 სიმულატორისათვის ჩვენ მიერ შექმნილი სკრიპტების (სცენარების) გამოყენებით იმიტაციურმა მოდელირებამ AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector) და DSR (Dynamic Source Routing) პროტოკოლებზე მათი შედარებითი ანალიზის განხორციელება უზრუნველყო ორი განსხვავებული პირობისათვის: ქსელის სტატიკური ფუნქციონირება უძრავი კვანძების შემთხვევითი განლაგების დროს და ქსელის დინამიკური ფუნქციონირება მობილური (მოძრავი) კვანძების პირობებში. ამის შედეგად დადგინდა:

DSR პროტოკოლი გვთავაზობს გატარების უფრო ფართო ზოლს გამომსახივებელი გადამცემების მცირე რაოდენობის შემთხვევაში, როგორც სტატიკურ, ასევე დინამიკურ რეჟიმებში.

ამასთან ერთად, პაკეტების დანაკარგი (დანაკლისი) უფრო მნიშვნელოვანია AODV პროტოკოლისათვის, როგორც არ უნდა იყოს ფუნქციონირება სტატიკური, თუ დინამიკური.

დაბოლოს, ხაზი უნდა გაესვას იმ გარემოებას, რომ დაყოვნება ერთი ბოლოდან მეორემდე მისაღწევად ყოველთვის უფრო მნიშვნელოვანია DSR პროტოკოლისათვის, თუ გადამცემთა რაოდენობა გარკვეულ რიცხვს აღემატება. ამრიგად, განსხვავება AODV და DSR პროტოკოლებს შორის უმნიშვნელოა. მაგრამ უმჯობესია DSR პროტოკოლის გამოყენება, თუ გარანტირებულია, რომ ქსელში გადამცემთა რაოდენობა მცირე იქნება. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ასეთ შემთხვევაში DSR პროტოკოლი გატარების უფრო ფართო ზოლის უზრუნველყოფის საშუალებას იძლევა.

იმ შემთხვევაში, როცა Ad hoc ქსელი გამომსხივებელთა მნიშვნელოვან რაოდენობას შეიცავს, პროტოკოლის არჩევა მოთხოვნილებათა შესაბამისად ხდება. თუ მოთხოვნილება იმაში მდგომარეობს, რომ ერთი ბოლოდან მეორემდე მიღწევა უმნიშვნელო დაყოვნებით უნდა ხორციელდებოდეს, მაშინ ასეთ შემთხვევაში უპირატესობა AODV პროტოკოლს უნდა მიეცეს. და, პირიქით, DSR პროტოკოლი უკეთესია, თუ პაკეტების დანაკარგები უნდა იყოს უმნიშვნელო.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Кучерявый А.К. Самоорганизующиеся сети и новые услуги // Электросвязь.- 2009.-№1. С. 29.
2. Subir Kumar Sarkar, Basavaraju T. G. Puttamadappa C. Ad hoc Mobile Wireless Networks Principles, Protocols, and Applications //Auerbach Publications -2007.
3. Mohammad Ilyas., Imad Mahgoub. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems- Washington, D.C.: CRC PRESS,2005.
4. Xiaoxin Wu Mukherjee, B., Chan, S.-H.G. MACA-an efficient channel allocation scheme in cellular networks // Global Telecommunications Conference-2000.-p.1385.
5. Молчанов Д.А. Самоорганизующиеся сети и проблемы их построения // Электросвязь.-2006.-№6. С. 24.
6. Ad hoc Networking Towards Seamless Communications : Springer Netherlands,2006.
7. Piyush Gupta, Kumar P. R. The Capacity of Wireless Networks // IEEE Transactions On Information Theory.-2000.- Vol. 46.- p. 388.
8. Геллер С. И., Журавлев Ю. П. Основы логического проектирования цифровых вычислительных машин: М.- 1969.
9. Manoj Pandey, Daniel Zappala The Effects of Mobility on Multicast Routing in Mobile Ad hoc Networks// University Of Oregon, Computer And Information Science Technical Report.-2004
10. Sanlin Xu, Kim L. Blackmore, and Haley M. Jones Hindawi An Analysis Framework for Mobility Metrics in Mobile Ad hoc Networks // Publishing Corporation EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.- 2007.- p. 16.

11. Ming Zhao, Wenye Wang A unified mobility model for analysis and simulation of mobile wireless networks // Wireless Networks-Springer Netherlands.-2009.-Vol.15.-p.365.
12. Sanlin Xu, Kim L. Blackmore, Haley M. Jones Hindawi An Analysis of Framework for Mobility Metrics in Mobile Ad hoc Networks// Publishing Corporation EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.- 2007.- p. 16.
13. Olivier Dousse, Patrick Thiran Connectivity vs Capacity in Dense Ad hoc Networks//IEEE INFOCOM.-2004.
14. Fei Xing, Wenye Wang Modeling and Analysis of Connectivity in Mobile Ad hoc Networks with Misbehaving Nodes // IEEE ICC 2006.-2006.
15. Christian Bettstetter On the minimum node degree and connectivity of a wireless multihop network // in Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile Ad hoc networking & computing.- 2002.- p. 80.
16. Andree Jacobson Metrics in Ad hoc networks // M.S. thesis, Lulea University of Technology.-2000.
17. Jeremie Leguay, Timur Friedman, Serge Fdida Connectivity aware routing in ad-hoc networks// Conference; 10th Conference on Personal Wireless Communications INTELLCOMM.-2005.
18. Sanquan Song, Dennis L. Goeckel, Don Towsley An Improved Lower Bound to the Number of Neighbors Required for the Asymptotic Connectivity of Ad hoc Networks // Submitted to IEEE Transactions on Information Theory.-2005.
19. Xue F., Kumar P. R. The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks// Wireless Networks.-2004.- vol.10.- p. 169.

20. Herndon S., Ingram B. WIN-T (Warfighter Information Network Tactical Analysis of Alternatives// Emerging Results. - AMSAA.-2004.
21. Zhou, Yuan Xia, Chunhe Wang, Haiquan Qi, Jianzhong Research on Survivability of Mobile Ad hoc Network // Computer Science and Software Engineering. International Conference on .-2008,- Vol. 3 .-p. 1084.
22. Perkins D., Hughes H. A survey on quality of service support in wireless Ad hoc networks//Journal of Wireless Communications and Mobile Computing. -2002.- p. 503.
23. Mohapatra P., Li J., Gui C. QoS in mobile Ad hoc networks // IEEE Wireless Communications- June.- 2003.-p. 44.
24. Wu K., Harms J. QoS support in mobile Ad hoc networks // Crossing Boundaries an interdisciplinary journal.-2001.-p. 92.
25. Xiao H., Seah W., Lo A., Chua K. A flexible quality of service model for mobile ad-hoc networks// In IEEE VTC.-2002.- p. 445.
26. Pagani E., Paolo Rossi G. A framework for the admission control of QoS multicast traffic in mobile Ad hoc networks// Wireless mobile multimedia ACM Press -2001.- p.2.
27. Seoung-Bum Lee, Gahng-Seop Ahn, Xiaowei Zhang, Andrew T. An IP-based quality of service framework for mobile Ad hoc networks // Journal of Parallel and Distributed Computing.- 2000.- p. 374.
28. Prasun Sinha, Raghupathy Sivakumar, Vaduvur Bharghavan. A core-extraction distributed Ad hoc routing algorithm 11 In INFOCOM (1).-1999.- p. 202.
29. Zhu C., Corson M., QoS routing for mobile Ad hoc networks // INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE-2002.- p. 958.

30. Bellur B., Ogier R., Templin F. Topology broadcast based on reverse-path forwarding // Internet-Draft Version 01, IETF.- 2001.
31. Perkins C., Royer E., Das S. Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing // Internet-Draft Version 07, IETF- 2000.
32. Knightly E., Shroff N. Admission control for statistical QoS // Theory and practice. IEEE Network.- 1999,- Vol.13.- p. 20.
33. Suri P.K., Kavita Taneja. DLFR:Taming stochastic behavior of Global Networks // International Journal of Computer Science and Network Security.- 2007.-Vol.7.
34. Маринда, Д.А. Открытые проблемы по беспроводным сенсорным технологиям // Электросвязь.-2009.- №1. С. 29.
35. Д Хуе F., Kumar P.R. The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks //Wireless Networks-2002.- p.- 169.
36. Jean-Marie Gorce, Ruifeng Zhang, Herv.e Parvery Research Article Impact of Radio Link Unreliability on the Connectivity of Wireless Sensor Networks // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking Volume 2007.-2007.- p.- 16.
37. Franceschetti M., Booth L., Cook M.,Meester R, Bruck J. Continuum percolation with unreliable and spread-out connections // Journal of Statistical Physics 118.-2005.- vol.-p. 721.
38. Gupta P., Kumar P. R., The capacity of wireless networks // IEEE Transactions on Information Theory.- 2000. vol. 46.- p. 388.
39. Gupta P., Kumar P. R. Critical power for asymptotic connectivity // Proceedings of the 37th IEEE Conference on.-1998.

40. Программа сетевой академии Cisco CCNA 1 и 2. Вспомогательное руководство 3-е изд., с испр.: Пер.с англ.-М.: Издательский дом «Вильямс», 2005.
41. Xiyu Shi, Christopher Adams, Ahmet Kondozi Strategically positioned nodes with extra transmission power can maintain system-wide connectivity in Ad hoc networks // SPIE Newsroom- 2006.
42. Johnson D. B., Maltz D. A., Broch J. DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-hop Wireless Ad hoc Networks // In Ad hoc networking.- 2000.- p. 139.
43. Perkins C. E., Royer E. M. Ad hoc On-demand Distance Vector Routing // in Proceedings of the 2nd Annual IEEE International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications- 1999.-p. 90.
44. Perkins C. E., Bhagwat P. Highly Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing for Mobile Computers // ACM SIGCOMM-1994.-p. 234.
45. Broch, D. A., Maltz, D. B., Johnson Y. C., Hu, Jetcheva J. A Performance Comparison of Multi-hop Wireless Ad hoc Network Routing Protocols // in Proceedings of the 4th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking- 1998.-p. 85.
46. Meghanathan N., Farago A. Survey and Taxonomy of 55 Unicast Routing Protocols for Mobile Ad hoc Networks // Technical Report UTDCS-40-04, University of Texas at Dallas.-2004.
47. Chih-Yung Chang, Sahoo P.K., Shih-Chieh Lee LARP: a novel routing protocol for the Bluetooth scatternet // Wireless and Optical Communications Networks.-2005.-p. 56.
48. Sucec J., Marsic I. Clustering Overhead for Hierarchical Routing in Mobile Networks // INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings.- 2002.- vol.3.- p. 1698

49. Tourrilhes J., Carter C. P-Handoff: A protocol for fine grained peer-to-peer vertical handoff // Mobile Systems and Services Laboratory HP Laboratories Palo Alto HPL.- 2002.-p. 61.
50. Yeng-Zhong Lee, Mario Gerla, Jason Chen, Jiwei Chen, Biao Zhou , Antonio Caruso "Direction" Forward Routing for Highly Mobile Ad hoc Networks // Computer Science Department, University of California, Los Angeles In Final Form.- 2005.
51. Xiaoyan Hong, Nam Nguyen, Shaorong Liu, Ying Teng Dynamic Group Support in LANMAR Routing Ad hoc Networks// Mobile and Wireless Communications Networkio- 2002,-p. 304.
52. Templin F., Ogier R., Lewis M. Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF) // Network Working Group Request, for Comments: 3684 SRI, Experimental SRI International. -2004.
53. Mesut G., Sorges U., Bouazizi I ARA The Ant-Colony Based Routing Algorithm for MANETs // Parallel Processing Workshops, 2002. Proceedings. International Conference on.- 2002.- p. 79.
54. David Walden The Bellman-Ford Algorithm And "Distributed Bellman-Ford // www.walden-family.com/public/bf-history.pdf.-2003.
55. Sgora A., Vergados D. D. Wireless Mesh Routing Protocols For Health Communication Systems // University of the Aegean Department of Information and Communication Systems Engineering GR-832 00.-2007.-p. 261.
56. Wiki-Wiki of the University of Luxembourg // <http://wiki.uni.lu/secan-lab/Source-Tree+Adaptive+Routing+Protocol.html>
57. Ching-Chuan Chiang, Hsiao-Kuang Wu, Winston Liu, Mario Gerla Routing In Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks With Fading Channel // Quality Of Service In Heterogeneous Wired/Wireless Networks.-2007.

58. Atsushi Iwata, Ching-Chuan Chiang, Guangyu Pei, Mario Gerla, Tsu-wei Chen Scalable Routing Strategies for Ad hoc Wireless Networks // Selected Areas in Communications, IEEE Journal on.-1999.-p. 1369.
59. Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat DSDV Routing over a Multihop Wireless Network of Mobile Computers // The International Series in Engineering and Computer Science.-2007.-p. 183.
60. Design Document for Intra-Domain Routing Protocols Data-Networks Project 2.-2007.
61. Murthy S., Garcia-Luna-Aceves J.J. A Routing Protocol for Packet Radio Networks Computer // International Conference on Mobile Computing and Networking.-1995.-p.86.
62. Iwata A., Chiang C.C., Pei G., Gerla M., Chen T.W. Scalable Routing Strategies for Ad hoc Wireless Network // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks.-1999.- p. 1369.
63. Tsu-Wei Chen, Mario Gerla Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks // IEEE ICC'98,-1998.
64. Clausen T., Jacquet P., Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)// INRIA IETF RFC 3626. -2003.
65. Carnegie Mellon, David B. Johnson Rice, YihChun Hu Ariadne: A Secure On Demand Routing Protocol for Ad hoc Networks // MobiCom'02.- 2002.
66. Jungtae Kim, Sangman Moh., Ilyong Chung, Chansu Yu Robust Multipath Routing to Exploit Maximally Disjoint Paths for Wireless Ad hoc Networks // Advanced Web and Network Technologies, and Applications.-2006.-p. 306.

67. Hiroaki Higaki, Shingo Umeshima Multiple-Route Ad hoc On-Demand Distance Vector (MRAODV) Routing Protocol // 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'04).-2004.
68. Chai-Keong Toh Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks // Wireless Personal Communications.-1997.-p. 103.
69. Sheetakumar Doshi, Shweta Bhandare, Timothy X Brown An On-demand Minimum Energy Routing Protocol for a Wireless Ad hoc Network // ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review.-2002.-p. 50.
70. Johnson D., Hu Y., Maltz D. The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad hoc Networks for IPv4 // IETF RFC 4728.
71. Agarwal K., Awasthi L.K Enhanced AODV routing protocol for Ad hoc networks // Networks, 2008. ICON 2008. 16th IEEE International Conference on.-2008.-p.1.
72. Manoj B. S., Ananthapadmanabha R. Siva Ram C. Link Life Based Routing Protocol for Ad hoc Wireless Networks// Computer Communications and Networks, 2001. Proceedings. Tenth International Conference on.-2001.-p. 573.
73. Vaduvur Bharghavan, Alan Demers ,Scott Shenker, Lixia Zhang MACAW: a media access protocol for wireless LAN's // ACM SIGCOMM Computer Communication Review/- 1994.-p. 212.
74. Rohit Dube , Cynthia D. Rais , Kuang-yeh Wang , Satish K. Tripathi Signal Stability based Adaptive Routing (SSA) for Ad-Hoc Mobile Networks// by IEEE Personal Communications.-1997.
75. Park V., Corson S. Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1// Functional Specification, Internet Draft, IETF MANET Working Group.-2001.

76. Hu Zhou, Suresh Singh Content based multicast (CBM) in Ad hoc networks // International Symposium on Mobile Ad hoc Networking & Computing .-2000.-p. 51.
77. Mingliang Jiang, Jinyang Li, Tay Y.C. Cluster Based Routing Protocol(CBRP) // Internet-Draft.-1999.
78. Sivakumar R., Sinha P., Bharghavan V. CEDAR: a Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm// selected Areas in Communications. IEEE Journal on.-1999.- Vol.17.-p. 1454.
79. Dhillon H., Ngo H.Q. QMP: a mesh-based multicast routing protocol with consolidated query packets// Wireless Communications and Networking Conference IEEE.-2005.
80. Subir Kumar Das, Manoj B. S. B. S., Siva Ram Murthy C. A dynamic core based multicast routing protocol for Ad hoc wireless networks// International Symposium on Mobile Ad hoc Networking & Computing.-2002.-p. 24.
81. CaspiP., GiraultA., Pilaud D. Automatic distribution of reactive systems for asynchronous networks of processors // IEEE Transactions on Software Engineering. - 1999.- Vol. 25,-p. 416.
82. Ching-Chuan Chiang, Mario Gerla, Lixia Zhang Forwarding Group Multicast Protocol (FGMP) for Multihop Mobile wireless networks // Cluster Computing.-1998.- Vol. 1.-p. 187.
83. Sung-Ju Lee, Mario Gerla, Ching-Chuan Chiang On-Demand Multicast Routing Protocol //Mobile Networks and Applications.- 2002.- Vol.7.-p. 441.
84. Awerbuch B., Holmer D., Rubens H., The pulse protocol: energy efficient infrastructure access// INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.-2004.-p. 1478.

85. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) / Routing IETF RFC 3561.
86. Young-Bae Ko, Nitin H. Vaidya Location-Aided Routing (LAR) in mobile Ad hoc networks // Wireless Networks.- 2000.- Vol.6.-p. 307.
87. George Aggelou, Rahim Tafazolli Relative Distance Micro-discovery Ad hoc Routing (RDMAR) // INTERNET DRAFT. -1999.
88. Nicklas Beijar Zone Routing Protocol (ZRP) // INTERNET-DRAFT.-2002.
89. Jiwei Chen, He Zhou, Yeng-Zhong Lee, Mario Gerla, Yantai Shu AODV-DFR: Improving Ad hoc Routing Scalability to Mobility and Load// Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2006 IEEE International Conference on.-2006.-p. 550.
90. Nie Nie, Cristina Comaniciu Energy Efficient AODV Routing in CDMA Ad hoc Networks // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.-206.-p.1.
91. Richard Draves, Jitendra Padhye, Brian Zill Comparison of Routing Metrics for Static Multi-Hop Wireless Networks// SIGCOMM'04.-2004.
92. Alicia Trivino-Cabrera, Jorge Garcí'a-de-la-Nava, Eduardo Casilari, Francisco J. Gonzalez-Canete Application of path duration study in multihop Ad hoc networks // Telecommunication Systems .- 2008.
93. Royer E. M., Chai-Keong T. A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks // Personal Communications, IEEE.- 1999. p. 46.
94. Subir Kumar Sarkar, Basavaraju T. G., Puttamadappa C. Ad hoc Mobile Wireless Networks Principles, Protocols, and Applications//Auerbach Publications.-2007.-p.121.
95. Mohammad Ilyas., Imad Mahgoub. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems: CRC PRESS, 2005.
96. Тепляков И.М. Основы построения ТКС. М.: РИО МИЭТ, 2003.

97. Абилов А.В. Распространение радиоволн в сетях подвижной связи теоретический материал и задачи для практических занятий : ИЖГТУ, 2001.
98. Ефимов А.В., Каракулин А.Ф., Кожухов И.Б., Поспелов А.С., Прокофьев А.А. Сборник задач по математике для втузов часть 2: Физико-математической литературы, 2001.
99. Tian J., Nahner J., Becker C., Stepanov I., Rothermel K. Graph-based Mobility Model for Mobile Ad hoc Network Simulation// in the Proceedings of 35th Annual Simulation Symposium, in cooperation with the IEEE Computer Society and ACM.- 2002.
100. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: пер. с англ. Под ред. В.И. Журавлева. М.: Радио и связь, 2000.
101. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами. Уч. Пособие для ВУЗов. М: Радио и связь, 2002
102. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. Под ред. Д.Д. Кловского. -М.: Радио и связь, 2000.
103. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: в 2-х ч. Ч. II: Пер. с англ. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992.
104. Bai F., Sadagopan N., Helmy A., Important: a framework to systematically analyze the impact of mobility on performance of routing protocols for Ad hoc networks // in Proceedings of IEEE Information Communications Conference.-2003.
105. Camp T., Boleng J., Davies V., A Survey of Mobility Models for Эпизодические Network Research// in Wireless Communication and Mobile Computing (WCMC). Special issue on Mobile Networking. Research, Trends and Applications. -2002.-Vol.- 2.- p.483.

106. Баринов В.В., Смирнов А.В. Эффективность моделирования информационно-телекоммуникационных сетей // Электросвязь.-2009.-№-3.- С.26.
107. Hanzo L., Tafazolli R. A Survey of QoS Routing Solutions for Mobile Ad hoc Networks.
108. Eugster P.T., Guerraoui R., Kermarrec A.-M., Massoulié L. Epidemic information dissemination in distributed systems// Computer. -2004.- Vol.37.- p. 60.
109. Nie Nie, Cristina Comaniciu Energy Efficient AODV Routing in CDMA Ad hoc Networks // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.-2006.- p.1.
110. Perkins C.E., Royer E.M. Ad hoc On Demand Distance Vector Routing // Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on.-1999.-p. 90 .
111. David B. Johnson, David A. Maltz Dynamic Source Routing in Ad hoc Wireless Networks // Mobile Computing .-1996.-p. 153.
112. David B. Johnson, David A. Maltz, Josh Broch DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad hoc Networks// In Ad hoc networking.-2000.-p. 139.
113. Mounir Benzaid , Pascale Minet, Khaldoun Alagha, Cedric Adjih, Geraud Allard Integration of Mobile-IP and OLSR for a Universal Mobility // Wireless Networks.- 2004.-p. 377.
114. Benzaid M., Minet P., Al Agha K. Integrating fast mobility in the OLSR routing protocol // Mobile and Wireless Communications Network, 2002. 4th International Workshop on.-2002.-p. 217.

115. Mounir Benzaid, Pascale Minet, Khaldoun A1 Agha, Cedric Adjih, Geraud Allard Integration of mobile-IP and OLSR for a universal mobility // Wireless Networks.- 2004,-p. 377.
116. OLSR an Ad hoc wireless mesh routing daemon // www.olsr.org/docs/wos3-olsr.pdf
117. Xiaofeng Zhang, Lillykutty Jacob Adapting Zone Routing Protocol for Heterogeneous Scenarios in Ad hoc Networks Nicklas // International Conference on Parallel Processing (ICPP'03).-2003.- p. 341.
118. Haas Z.J. A New Routing Protocol For The Reconfigurable Wireless Networks // Universal Personal Communications Record. Conference Record. IEEE 6th International Conference on.-1997.- p. 562.
119. Chun-Chuan Yang, Li-Pin Tseng Fisheye Zone Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks// Consumer Communications and Networking Conference. CCNC Second IEEE.-2005.-p. 1.
120. Ching-Chuan Chiang, Hsiao-Kuang Wu, Winston Liu, Mario Gerla Routing in clustered multihop, mobile wireless Networks with fading channel// IEEE SICON'97.- 1997.-p. 197.
121. Шорин О. А. Современные методы теории телетрафика при проектировании сотовых систем связи // Вестник РАЕН.-2009.-том 9- №2.-С.69-76.
122. Токарь Р.С., Шорин О .А. Алгоритм синтеза сотовых систем связи 2G // Спецтехника и связь.- 2008.-№1.-С.48-53.
123. Проблемы безопасности информационного взаимодействия в распределенной среде «Сборник трудов под редакцией Мазепа Р.Б., Михайлов В.Ю.»: МАИ -ПРИНТ.-ISBN 978-5-7035-2.- 2009.

124. Бахтин А.А., Баринов В.В., Прокофьев А.А., Меркушев В.А. К расчету времени связи мобильных абонентов в сети Ad hoc // Естественные и технические науки ISSN 1684-2626.- 2009.-№ 2.- С. 316-319.

125. Бахтин А.А., Абабков М.Б., Смирнов А.В. Моделирование трафика и планирование беспроводной сети с помощью пакета OPNET Modeler Методы проектирования и защиты мобильных систем связи «Сборник трудов МИЭТ под редакцией Баринова В.В.»- 2006 г. С. 12-26.

126. Бахтин А.А., Абабков М.Б., Смирнов А.В. К построению сети профессиональной мобильной радиосвязи на базе стандарта 802.11е //Методы проектирования и защиты мобильных систем связи «Сборник трудов МИЭТ под редакцией Баринова В.В.»- 2006 г.- С. 3-11.

127. Бахтин А.А., Самсонов Н. Е. Разработка протокола канального уровня для распределенной системы радиосвязи // Исследования в области проектирования цифровых систем связи « Сборник научных трудов под редакцией Баринова В.В.».-2007.- С. 16-20.

128. Бахтин А.А., Смирнов А.В., Ломовская К.М. Оценка производительности коммуникационного оборудования // Исследования в области проектирования цифровых систем связи «Сборник научных трудов под редакцией Баринова В.В.».- 2007.- С. 64-72.

129. Бахтин А.А. Моделирование протокола маршрутизации для построения иерархической сети передачи данных // Международная школа-конференция

130. Информационно-телекоммуникационные системы» :Тезисы докладов.- М:МИЭТ, 2005.- С. 44.

131. Бахтин А.А., Смирнов А.В. Построение сетей ПМР на базе мобильного WiMAX // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», МТУСИ. Москва.- 2006.- С. 175.
132. Бахтин А.А., Смирнов А.В. Проблемы построения мобильного WiMAX // Российская школа-конференция «Мобильные системы передачи данных»: Тезисы докладов.- М:МИЭТ, 2006.- С. 50.
133. Микроэлектроника и информатика-2008»: Тезисы докладов.- М.: МИЭТ, 2008.- С. 225.
134. Олифер, Н. Качество обслуживания Электронный ресурс. / Н. Олифер. Электрон, дан. - Режим доступа: <http://www.olifer.ru/articles/ip2/ip2.html>, свободный
135. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович М.: Техносфера, 2005. - 591 с.
136. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович М.: Техносфера, 2005. - 591 с
137. Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks / P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek and M. Degermark // Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM. 1999. - pages: 195-206
138. Карабуто, А. Сенсорные сети Электронный ресурс. / А. Карабуто. -Электрон, дан. Режим доступа: <http://offline.computerra.ru/2004/553/35459/>, свободный.
139. თ. ნამიჩეიშვილი, მ. ჭინჭარაული. Ad hoc ქსელების მოდელირება NS2-ის საშუალებით. საერთაშორისო კონფერენცია «ინფორმაციული და გამოთვლითი ტექნოლოგიები», მიძღვნილი იმფორმატიკის ქართული სამეცნიერო სკოლის

თვალსაჩინო წარმომადგენლების, პროფესორების ელენე დეკანოსიძის და მურმან წულაძის ხსნოვნისადმი (საქართველო, თბილისი, 2-6 მაისი, 2010 წელი), ნიკო მუსხელიშვილის გამოთვლითი მათემატიკის ინსტიტუტი, საქართველოს საპატრიარქოს წმიდა ანდრია პირველწოდებულის სახელობის ქართული უნივერსიტეტი. სამუშაო პრაგრამა, სექცია - ინფორმაციული სისტემები და ტექნოლოგიები.-გვ.5.

140. მ. ჭინჭარაული. მარშრუტიზაციის ალგორითმების შესწავლა თვითორგანიზებად მობილურ ქსელებში. აკადემიკოს ი. ფრანგიშვილის დაბადების 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის «საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა» შრომები.-თბილისი: საგამომცემლო სახლი «ტექნიკური უნივერსიტეტი», 2011.-გვ.56-59.-ISBN 978-9941-14-942-9.

141 მ. ჭინჭარაული. შემთხვევითი მობილურობის მოდელები უსადენო დეცენტრალიზებულ თვითორგანიზებად (MANET) ქსელებში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დაარსებიდან 90 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის «21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები» შრომები.-თბილისი: საგამომცემლო სახლი «ტექნიკური უნივერსიტეტი», 2012, ტომი მე-2.-გვ.478-485.-ISBN 978-9941-20-096-0 (ყველა ნაწილი), ISBN 978-9941-20-098-4 (მეორე ნაწილი).

142. ჭინჭარაული მ. გ., ნამიჩიეშვილი ო. მ., უსაფრთხოების პრობლემები მობილურ Ad hoc ქსელებში. Georgian Engineering News, ISSN 1512-0287, Tbilisi, 2013, № 1, P.5-18.