

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ზაზა მარდალეიშვილი

ტელეტრაფიკის ამოცანებში ფრაქტალური მეთოდების გამოყენების
შესაძლებლობების კვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი 2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ, პროფესორი თამაზ კუპატაძე

რეცენზენტები: პროფესორი, ომარ შამანაძე

პროფესორი, გიორგი ჩირაძე

დაცვა შედგება 2016 წლის „ _____, _____ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, _____ კორპუსი, _____ აუდიტორია
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

გია ხელიძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. მონოსერვისული ქსელის დაპროექტება, განხორციელება და ექსპლუატაცია ემყარება ცოდნას სატელეკომუნიკაციო ქსელში ტრაფიკის აღწერის ტრადიციული მეთოდებისა და მოდელირების გზების შესახებ, კერძოდ: ქსელის ტრაფიკის მახასიათებლები; მომსახურების ხარისხის მიმართ მოთხოვნები; ტრაფიკის სახეები—უწყვეტი ტრაფიკი, ელასტიური ტრაფიკი, ტრაფიკის გაერთიანება. ტრაფიკის მოდელირების თვალსაზრისით, განიხილება ტრაფიკის მათემატიკური აღწერა, კერძოდ ბიტების, პაკეტების და ა.შ. შემოსვლა, როგორც წერტილოვანი პროცესი T_1, T_2, \dots, T_n დროის მომენტებში. გასათვალისწინებელია ტრაფიკის პულსირებადი სტრუქტურა, დისპერსიის ინდექსის განსაზღვრის საჭიროება, ტრაფიკის პიკურობა, პიკურობის განზომილებები, პიკურობის გაზომვა სხვადასხვა სერვისებისათვის: კერძოდ ვიდეოტრაფიკისათვის, ATM – ტრაფიკისათვის, Ethernet–ტრაფიკისათვის.

მულტისერვისულ ქსელებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სატელეკომუნიკაციო ქსელში მოთხოვნების შემოსვლის ნაკადების შესწავლას, რომლის შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია ქსელთან დაკავშირებული პრობლემების განხილვა და გადაწყვეტა. შეიძლება ითქვას, რომ ქსელის პროექტირებასთან დაკავშირებული ნებისმიერი პროცესები წარმოადგენს მხოლოდ რთული გამოთვლების ჩატარებას, ხოლო ფუნდამენტალური თეორია, რომელიც ასეთი გამოთვლების ჩატარების საშუალებას იძლევა, არის მოთხოვნების ნაკადების თეორია, რომელიც თავისი დონით შეესაბამება ერთ–ერთ მწყობრსა და დასრულებულ თეორიას. ამიტომაც სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი მაქვს „მოთხოვნათა ნაკადების თვისებები და მახასიათებლები“, რომლის გამოყენების სამართლიანობას ვეძებ პულსირებადი, ანუ სტრუქტურული ნაკადების აღწერისა და რაოდენობრივი შეფასების მიზნით. აქ კორელაციის ფუნქცია თამაშობს მეტად მნიშვნელოვან

როლს, ვინაიდან წარმოადგენს იმ ძირითად კრიტერიუმს, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება ასეთი პროცესების მასშტაბური ინვარიანტულობა. „მოშორებით“ არსებული (ანუ სხვა დროს არსებულ) კორელაციას უწოდებენ ხანგრძელ დამოკიდებულებას. თვითმსგავსი პროცესების კორელაციის ფუნქციის განმასხვავებელი ნიშანი, ჩვეულებრივ პროცესებთან შედარებით იმაში მდგომარეობს, რომ კორელაცია, როგორც დროითი დაყოვნების ფუნქცია, ითვალისწინებს პოლინომიალურ და არა ექსპონენციალურ მიღევას.

სამუშაოს მიზანი. საწყისი ეტაპის კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ტელეტრაფიკში თვითმსგავსების მიზეზების შესწავლის შედეგების წარმოჩენა. ეს შედეგები, მიუხედავად მათი მნიშვნელობისა და დახვეწილობისა, მოიკოჭლებს არარეალური დაშვებების არსებობის გამო. რეალური საქსელო გარემოცვა ყოველთვის შეიცავს შეზღუდული რაოდენობის რესურსებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ შეზღუდული რაოდენობის რესურსის მოპოვების პროცესში აუცილებლად წარმოიქმნება არაწრფივი მოვლენები და ამის შედეგად თავს იჩენს ტრაფიკის წყაროებს შორის დამოკიდებულობა. გადატვირთულობის შემთხვევაში წარმოიქმნება ასეთივე არაწრფიობები მართვის მექანიზმებშიც, როგორებიცაა TCP (გადაცემის მართვის პროტოკოლი), Ethernet და სხვა. ქსელის რესურსების გამოყენება ხდება ქსელის არქიტექტურის ყველა დონეზე, რაც იძლევა იმის საშუალებას, რომ არსებული რესურსები ოპტიმალურად გადანაწილდეს სტატისტიკურ საფუძველზე. რადგანაც თანამედროვე მულტისერვისული ქსელი წარმოადგენს კავშირგაბმულობის სისტემას საშუალო და გროვებით, ლეონარდ კლეინროკის აზრით, სწორედ ასეთ ქსელებში ვლინდება „დიდი პოპულაციების მოსწორების ეფექტი, რომლის დახვეწილ განსახიერებას წარმოადგენს პაკეტური კომუტაცია“ და შესაბამისად ამ მოსაზრების საფუძველზე პაკეტების ნაკადზე შესაძლებელია გავრცელდეს მოთხოვნათა ნაკადებისათვის არსებული კლასიკური თეორია.

მაგრამ, აღნიშნული პროცესები მასშტაბირების დროს სტატისტიკური მსგავსების გარდა ავლენენ რაოდენობრივ თვისებებსაც. თვითმსგავსების ნიშნები შეიძლება გამომჟღავნდეს რამოდენიმე, ტოლფასოვანი ნიშნით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს მასობრივი მომსახურების სისტემები პაკეტების ჯგუფების მოთხოვნათა მომსახურების რეჟიმით, რაც დამახასიათებელია კავშირგაბმულობის მულტისერვისული ქსელებისათვის. სადისერტაციო ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ პაკეტების ჯგუფების ნაკადების კორელაციური თვისებები არის წარმოქმნილი რიგების ძირითადი განმსაზღვრელი მოვლენა. სადისერტაციო ნაშრომში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულია: მასობრივი მომსახურების თეორიის მათემატიკური მეთოდები, კერძოდ მოთხოვნათა შემომავალი ნაკადების თეორია, სტაციონალური რიგების მათემატიკური თეორია, ინფორმაციის მიმოცვლის პროცესის მათემატიკური მოდელები.

ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევებისა და მიღებული შედეგების სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

1. ქსელის რესურსების შეუზღუდავი რაოდენობისა და ტრაფიკის ურთიერთდამოუკიდებელი წყაროების შემთხვევაში ფრაქტალურობა (თვით მსგავსება) წარმოიქმნება ცალკეული, აქტიურ/პასიური (ON/OFF) წყაროების სიმრავლეთა გაერთიანების შედეგად. წყაროს აქტიური და პასიური პერიოდების განაწილება ხასიათდება მძიმე წაგრძელებებით და აქვს უსასრულო დისპერსია. აქტიურ/პასიური წყაროების სიმრავლის ზედდება ავლენს უსასრულო დისპერსიის მიდრეკილებას და ქსელში ჩამოყალიბებული გაერთიანებული ტრაფიკი არის თვითმსგავსი, რომლის სახეც მიისწრაფის ბროუნის მოძრაობის ტიპის ფრაქტალურობისაკენ. აქ ძირითადია აქტიურ/პასიური წყაროების მოქმედების მაღალცვალებადი ქცევა, ისევე როგორც მომხმარებელ/სერვერი არქიტექტურის შემთხვევაში. ასეთ

მსჯელობას გააჩნია მნიშვნელოვანი ცდომილებების წყაროები, მაგალითად, ქსელის რესურსების შეზღუდული რაოდენობა იწვევს ინფორმაციის წყაროებს შორის მკვეთრად გამოხატულ ურთიერთდამოკიდებულებას. ასევე, მართვის მექანიზმებიც, როგორებიცაა დაგეგმარების ალგორითმი (Operating System), გადაცემის მართვის პროტოკოლი (Transmission Control Protocol), Ethernet, ქსელის გადატვირთულობის შემთხვევაში იძლევიან მიმდინარე პროცესების დამატებით დამახინჯებებს.

2. ქსელის ტრაფიკის თვითმსგავსზე დაყვანის სირთულის ძირითადი მიზეზია ის, რომ არ არსებობს მკაფიოდ გამოკვეთილი, თვითმსგავსების გამომწვევი მიზეზობრივი ფაქტორები. ქსელის თვითმსგავს ტრაფიკში არსებული სხვადასხვა კორელაციები, შეიძლება წარმოიქმნან განსხვავებული მიზეზებით და მახასიათებლებში გამოვლიდნენ კონკრეტულ დროით მასშტაბებში. ეს შეიძლება იყოს ინფორმაციისა და ძეგნის სტრუქტურა (მაგალითად დისკი და მეხსიერებაში არსებული პროგრამები), მომხმარებლის მხრიდან „მოფიქრების დროის ხანგრძლივობას“ და ფაილების გადაცემის უპირატესობები, საშუალოდ ბუფერების ეფექტი (ქეშირება), გადაცემის მართვის პროტოკოლი (TCP), Ethernet და ATM-მექანიზმების მართვა (მიერთების მართვა, გადატვირთულობების მართვა და სხვა).

3. სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგენილია, რომ ქსელის ტრაფიკში ხანგრძლივი დამოკიდებულების წარმოქმნის ძირითადი ფაქტორებია:

- მომხმარებლის ქცევა;
- მონაცემთა გენერაცია, სტრუქტურა და მოძიება;
- ტრაფიკის გაერთიანება;
- ქსელის მართვის საშუალებები;
- უკუკავშირზე დაფუძნებული მართვის მექანიზმები;
- ქსელის განვითარება.

4. მასობრივი მომსახურების სისტემების ანალიზისათვის გავრცელებულია განაწილების ორი ალბათური მახასიათებლის გამოყენება - მეზობელ მოთხოვნებს შორის დროის ინტერვალების განაწილება და მოთხოვნათა მომსახურების ხანგრძლიობათა განაწილება. ნაკადების კლასიკური თეორიის გამოყენებას ზღუდავს ის, რომ არსებული თეორია პასუხობს წმინდად შემთხვევითი ნაკადების პროცესებს, სადაც მოთხოვნათა შორის ინტერვალები განაწილებულია ექსპონენციალურად და არაკორელირებულია. მაშინ, როდესაც მოთხოვნებს შორის ინტერვალები ურთიერთკორელირებულელებია, მოთხოვნათა ნაკადების არსებული თეორიის გამოყენება იძლევა მნიშვნელოვან ცდომილებებს, მაშინაც კი, როდესაც ექსპონენციალური განაწილება არსებობს. სადისერტაციო ნაშრომში შემოთავაზებულია ტრაფიკის რიგების საშუალო სიდიდეების გამოთვლის მეთოდი, ტრაფიკის ტრასებზე კორელაციისა და დისპერსიის ექსპერიმენტულად განსაზღვრის საფუძველზე.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების გამოყენების სფერო. თანამედროვე ინფორმაციული საზოგადოების ობიექტურ რეალობას წარმოადგენს ახალი, საინფორმაციო მომსახურების სახეობებზე მოთხოვნათა ზრდა, ამასთანავე, გასათვალისწინებელია, რომ ერთიანი მულტიმედიური ტერმინალი სტანდარტული ფართოზოლოვანი ინტერფეისით მიერთებულია ქსელთან. მომსახურებათა სახეობები ITU (International Telecommunication Union) სტანდარტიზაციის სექტორის რეკომენდაციებში განმარტებულია როგორც ინფორმაციული მომსახურება, ინფორმაციის კომპლექსური მიწოდებით.

ამის შესაბამისად, ნაციონალური ინფოსაკომუნიკაციო ქსელის პროექტირება წარმოადგენს უახლოესი პერსპექტივის ამოცანას, როდესაც იქმნება ელექტროკავშირგაბმულობის მულტისერვისული ქსელი, მულტიმედიური მომსახურების ორგანიზაციის სპეციფიკის

გათვალისწინებით (კავშირის დამყარების აუცილებლობის ფაზის არსებობა ქსელის რესურსების ცვლადი რაოდენობით და მოთხოვნათა ნაკადის მრავალკომპონენტური სტრუქტურით; მულტიმედიური მოთხოვნების ბლოკირება; ჭარბი მულტიმედიური დატვირთვის წარმოქმნა. გადაცემის გამჭოლ ტრაქტში იზოქრონული პაკეტების არსებობის დროის ინტერვალების განაწილების კანონზომიერება და სხვა) ერთიანი სატელეკომუნიკაციო ქსელის ჩარჩოებში. სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგები ეძღვნება კავშირგაბმულობის მულტისერვისული ქსელების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის პრობლემებს.

პუბლიკაციები და სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის შედეგები მოხსენებული და განხილული იქნა შემდეგ სემინარებზე, კოლოქვიუმებზე და კონფერენციებზე:

1. პირველი და მეორე თემატური სემინარები და კოლოქვიუმები (თბილისი, სტუ, 2013, 2014 წწ).
2. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი, 25-26 მაისი, 2013 წ.
3. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი, 24-25 ოქტომბერი, 2015 წ.
4. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი, 18 ივნისი, 2015 წ.
5. საერთაშორისო კონფერენცია: „ახალგაზრდების ჩართულობა ელექტროენერგიით ვაჭრობის მექანიზმის შემუშავების პროცესში“, თბილისი, 29 აპრილი, 2015 წ.

და წარმოდგენილია 3 ნაბეჭდ ნაშრომში: საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი, 25-26 მაისი, 2013 წ.; საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი, 24-25 ოქტომბერი, 2015 წ.; საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“, ქუთაისი, 18 ივნისი, 2015 წ.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ოთხი თავისაგან და დასკვნისაგან, რომელიც შეიცავს 110 გვერდს, 12 ნახაზს, 5 ცხრილს და გამოყენებული ლიტერატურის 105 დასახელების ჩამონათვალს.

ნაშრომის შინაარსი

პირველი თავი ეძღვნება წმინდად შემთხვევითი ტიპის ნაკადის თვისებებისა და მახასიათებლების განხილვას. იმ მიზნით, რომ გარკვეული შეზღუდვებით ეს თეორია გამოვიყენოთ მულტისერვისული ტრაფიკის ანალიზისათვის.

მეზობელ მოთხოვნებს შორის დროის შუალედების განაწილების კანონი

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} \cdot e^{-\lambda t}$$

არის პუასონის ტიპის, ანუ წმინდად შემთხვევითი ნაკადის განსაზღვრის ერთ-ერთი მეთოდი. განსხვავებულ მეთოდს წარმოადგენს მეზობელ მოთხოვნებს შორის დროის შუალედების განაწილება: $P(z < 1) = 1 - P(z > 1)$. აქ ალბათობა

$P(z < 1)$ ტოლფასია იმ ალბათობისა, რომ t ხანგრძლიობის დროის შუალედში არ შემოვა არცერთი მოთხოვნა: $P(z > t) = P_0(t)$, ანუ

$$P_i(z < t) = 1 - P_0(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

t -ს მიხედვით ამ განტოლების დიფერენციალი განსაზღვრავს მეზობელ მოთხოვნებს შორის დროის შუალედების განაწილების სიმკვრივეს:

$$p(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ასეთ კანონს ეწოდება ექსპონენციალური, ანუ მაჩვენებლიანი განაწილების კანონი, ხოლო λ არის ამ განაწილების პარამეტრი. ასეთი განაწილების შემთხვევა არის პუასონის ტიპის ნაკადის არსებობის აუცილებელი და საკმარისი პირობა. ამისათვის განვსაზღვროთ z შუალედების მათემატიკური მოლოდინი, დისპერსია და საშუალოკვადრატული გადახრა:

$$M_z = \int_0^{\infty} t p(t) dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda;$$

$$D_z = \int_0^{\infty} t^2 p(t) dt - M_z^2 = \int_0^{\infty} t^2 \lambda e^{-\lambda t} dt - 1/\lambda^2 = 1/\lambda^2;$$

$$\sigma_z = \sqrt{D_z} = 1/\lambda.$$

მათემატიკური მოლოდინის და საშუალოკვადრატული გადახრის მნიშვნელობათა დამთხვევა დამახასიათებელია მაჩვენებლიანი (ექსპონენციალური) განაწილებისათვის. პრაქტიკულ საქმიანობაში ექსპონენციალური განაწილების ამ თვისებას იყენებენ, სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე მიღებული განაწილების, მაჩვენებლიან კანონთან შესაბამისობის დადგენის კრიტერიუმად.

როდესაც რეალური ნაკადისათვის გაზომილია მოთხოვნებს შორის დროის შუალედები და შემთხვევითი z სიდიდისათვის გაგვაჩნია n რაოდენობის მნიშვნელობები, ვანგარიშობთ საშუალო მნიშვნელობას,

შევაფასებთ წაუნაცვლებელ დისპერსიას და z სიდიდის საშუალოკვადრატულ გადახრას:

$$\bar{z} = \sum_{i=1}^n z_i / n; \quad D_z = \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2 / n - 1; \quad \sigma_z = \sqrt{D_z}.$$

\bar{z} და σ_z მნიშვნელობათა დამთხვევის სიზუსტის შესაბამისად შეიძლება ვიმსჯელოთ, რამდენად შენარჩუნებულია (არსებობს) სისტემაში, შემოსულ მოთხოვნათა შორის დროის შუალედების განაწილების ექსპონენციალური კანონი.

განვსაზღვროთ t დროის შუალედში შემოსული მოთხოვნების რაოდენობის მათემატიკური მოლოდინი M_i და დისპერსია D_i :

$$M_i = \sum_{i=1}^{\infty} iP_i(t) = \sum_{i=1}^{\infty} i \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t} = \lambda t e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^i}{i!} = \lambda t$$

$$D_i = \sum_{i=1}^{\infty} i^2 P_i(t) - M_i^2 = \sum_{i=1}^{\infty} i^2 \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t} - (\lambda t)^2 = \lambda t.$$

შემოსულ მოთხოვნათა რაოდენობის მათემატიკური მოლოდინისა და დისპერსიის მნიშვნელობათა ტოლობა, აგრეთვე შეიძლება გამოვიყენოთ რეალური ნაკადისათვის, პუასონის ტიპის ნაკადის მოდელთან მისადაგებით სამართლიანობის დასადგენად. დაუშვათ, რომ რეალური ნაკადისათვის დაითვლება t ხანგრძლიობის, n რაოდენობის შუალედებში შემოსული მოთხოვნების რაოდენობები x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\bar{x} = \sum_{j=1}^n x_j / n; \quad D_x = \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 / n - 1.$$

იმის მიხედვით, თუ რა სიზუსტით ემთხვევა \bar{x} და D_x მნიშვნელობები ვაკეთებთ დასკვნას პუასონის ტიპის ნაკადთან რეალური ნაკადის თავსებადობის შესახებ.

წმინდად შემთხვევითი (პუასონის) ნაკადის მოდელი, რომელიც იძლევა საშუალებას შედარებით მარტივად მივიღოთ საანგარიშო ფორმულები,

ყველაზე მეტად არის გავრცელებული ინფორმაციის განაწილების თეორიის ამოცანებში, ვინაიდან ეს მოდელი პრაქტიკული მიზნებისათვის დამაკმაყოფილებლად აღწერს შესაბამის პროცესებს, ინფორმაციის წყაროების დიდი რაოდენობის არსებობის შემთხვევაში.

დისერტაციის მეორე თავი ეძღვნება პაკეტების ნაკადის სტატისტიკური თვისებების კვლევას. პულსირებულად ცვლადი სტრუქტურების აღწერისა და რაოდენობრივი შეფასების მიზნით, აუცილებელია ქსელში შესაბამისი სატრაფიკო ტრასებზე ჩატარებული გაზომვების შედეგებით სარგებლობა. ტრაფიკის მოდელირებასთან დაკავშირებული კვლევების მიზანს წარმოადგენს თვითმსგავსების (self-similarity), ანუ ფრაქტალურობის იდენტიფიცირება, რაოდენობრივი მახასიათებლების შეფასება, შესაძლო ხანგრძლივი დამოკიდებულების შესწავლა, ქსელის ტრაფიკში ფრაქტალურობის მიზეზების არსებობის განმარტება და რიგების არსებობის გათვალისწინებით, ქსელის წარმადობის კვლევა.

ჩვენ მიერ გამოყენებული იქნა „ფოფტნეტის“ (Foptnet) ბოჭკოვან-ოპტიკური ქსელის ადგილობრივ ტრაფიკზე დაკვირვების შედეგები თბილისი-ქუთაისის 10 გბიტ/წმ მონაკვეთზე, ქუთაისი-ზესტაფონისა და ფოთი-ზუგდიდის 1 გბიტ/წმ სიჩქარის ქსელის მონაკვეთებზე.

დავრწმუნდით, რომ მაშინ, როდესაც ანალიზური კვლევა შეუძლებელია, ხელოვნური ტრასების სინთეზის ალგორითმები განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენენ, ვინაიდან მათი გამოყენებით შესაძლებელია ფრაქტალური დატვირთვის მიმართ მოდელირება. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ ხელოვნური ტრაფიკის სინთეზი გარკვეულად უფრო ხელსაყრელია ვიდრე რეალური გაზომვების შედეგად შედგენილი მოდელი, ვინაიდან:

- რეალური ტრასები ძალზე მოუხერხებელია გაზომვებისა და შედეგების დასაფიქსირებად;

- აღსაქმელად, შედარებით თვალსაჩინო პარამეტრები საშუალებას იძლევა რეალური მონაცემების საფუძველზე განვაზოგადოთ მოდელირების შედეგები ნებისმიერი ვითარებისთვის, რომელთა განსაზღვრა რთული ამოცანაა (ჰერსტის-Hurct H.E. მაჩვენებელი, საშუალო მნიშვნელობები, დისპერსიის დამოკიდებულება აგრეგირების პარამეტრისაგან და სხვა).

რეალური მონაცემები ავლენენ ურთულესი სტრუქტურული დამოკიდებულების ხასიათს, ვიდრე, შესწავლილი პროცესისათვის სპეციალურად ფორმირებული ვითარებები, რომლებსაც გააჩნიათ ხანგრძლივი დამოკიდებულებების შინაარსი.

პაკეტური კომპუტაციის შემთხვევაში, ბიტების უწყვეტი ნაკადი გადაცემის ცვლადი სიჩქარით, ქმნის პაკეტების ნაკადს, სადაც პაკეტებს შორის დროის ინტერვალების განაწილების სიმკვრივე, ცალსახად განსაზღვრავს პაკეტების ნაკადის სტატისტიკურ თვისებას და წარმოადგენს წაგრძელების შემცველ განაწილებას.

პაკეტების ნაკადის სტატისტიკურ თვისებებს განსაზღვრავს შემდეგი ფაქტორები:

- ინფორმაციის წყაროდან გენერირებული ბიტების ნაკადის ტრაფიკის შემთხვევითი ხასიათი;
- ბიტების ნაკადის, პაკეტების ნაკადად გარდაქმნის თვისებურებები;
- სატელეკომუნიკაციო ქსელის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით ნაკადის აგრეგაციის პროცესში მისი მიზნობრივი გარდასახვა.

რადგანაც ბიტების ნაკადის გარდასახვის გამო, პაკეტების შემოსვლა არათანაბარია, დროის ინტერვალები პაკეტების შემოსვლებს შორის იქნება შემთხვევითი სიდიდე.

პაკეტების ნაკადის სტატისტიკურ მახასიათებლებზე და სტრუქტურაზე ზეგავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები:

1. დროის დაყოფის პრინციპით მომქმედი ოპერაციული სისტემის თავისებურება, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ სისტემაში მიმდინარე პროცესები ვითარდება ვირტუალურ დროში, რაც ძირითადად განისაზღვრება მიღწევადი რესურსებით. ამიტომ მომსახურების სახეობათა დონიდან არხის დონემდე, ქმნის არათანაბარ დროის ინტერვალებს პაკეტების ფორმირების ფაზებს შორის, მაშინაც კი, როდესაც მონაცემთა ნაკადი თანაბარია.
2. მონაცემთა აგრეგირების ხასიათი განისაზღვრება მომსახურების სახეობათა გამოყენების დინამიკით, რომელიც მოითხოვს ქსელების ურთიერთქმედების საშუალებების გამოყენებას. მომსახურების სახეობათა გამოყენება ქმნის მონაცემთა გენერაციის ინტენსიობას, რომელიც განისაზღვრება ბუფერის შესაძლებლობით მეხსიერების მოცულობით და არხების გამტარუნარიანობით
3. სატრანსპორტო დონის პროტოკოლის მოქმედება უნდა უზრუნველყოფდეს პაკეტების სწორად გადატანასა და გადაცემის სიჩქარის რეგულირებას მონაცემთა წყაროსა და მიმღებს შორის უკუკავშირის შეკრული კონტურის გამოყენების საფუძველზე.
4. საარხო დონის პროტოკოლების მოქმედების თავისებურებაა პაკეტებს შორის დროის ინტერვალების ზრდა არხების გადატვირთულობის შესაბამისად, კოლიზიების გახშირების გამო.
5. სერვისების პარამეტრების ხარისხის უზრუნველსაყოფად მახასიათებლების და საჭირო შეზღუდვების შემოტანა გათვალისწინებული უნდა იქნას, მხოლოდ საშუალებო კვანძებში.

რადგანაც თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო ქსელი არის სისტემა საშუალებო დაგროვებით, აქ სრულად ვლინდება „ დიდ სიმრავლეთა

შემარბილებელი ევექტი, რომლის დახვეწილ განსახიერებას წარმოადგენს პაკეტური კომპუტაცია“ (Leonard Kleinrock), რაც იძლევა რწმენას, რომ გარკვეულ ფარგლებში შეიძლება მულტიერვისული ქსელის ანალიზისათვის გამოვიყენოთ ტელეტრაფიკის კლასიკური თეორიის შედეგები, რაც წარმოდგენილია დისერტაციის მეოთხე თავში.

დისერტაციის მესამე თავი ეძღვნება პაკეტების ნაკადებში კორელაციური კავშირების კვლევას. დისერტაციის პირველ თავში მიღებული შედეგების მნიშვნელოვან შეზღუდვას წარმოადგენს ის, რომ მათი გამოყენება ისეთ სისტემებში სადაც მოთხოვნების შემოსვლების მომენტებს შორის დროის ინტერვალები ურთიერთკორელირებულებია შეუძლებელია, მაშინაც კი, როდესაც დროის ინტერვალების მნიშვნელობები მკაცრად ექსპონენციალური კანონით არის განაწილებული.

მესამე თავში მეღებულია შემდეგი შედეგები:

1. მასობრივი მომსახურების ერთსერვერიანი სისტემისათვის შედგენილია შემოსულ და მომსახურებულ მოთხოვნებს შორის დამოკიდებულებების ბალანსის განტოლება.
2. შემოთავაზებულია, რიგის წარმოქმნის პროცესზე დაკვირვების შედეგების საფუძველზე, რიგის ცვლილების სიჩქარის შეფასების მეთოდოლოგია.
3. შეფასებულია საკვლევ ინტერვალზე მოთხოვნათა რიცხვის კორელაციური მომენტების ჯამური მნიშვნელობა, რაც გვაძლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ მოთხოვნათა რეალური ნაკადებისათვის, სადაც მოთხოვნათა პაკეტები შემოდის ჯგუფურად, ანუ ერთმანეთზე მიყოლებით, კორელაციური მომენტების ჯამი, მნიშვნელოვნად აღემატება დისპერსიას, რაც განმსაზღვრელ ზეგავლენას ახდენს რიგების სიდიდეებზე.

4. მულტისერვისული ნაკადების ტრაფიკისათვის დამახასიათებელია მკაფიო კორელაციური დამოკიდებულებები და შესაბამისად, მოთხოვნათა რიცხვის კორელაციური მომენტების მნიშვნელობები აღწევს დიდ, დადებითნიშნის სიდიდეებს.
5. შესასწავლი ხანგრძლიობის დროის ყოველ ინტერვალზე, მომსახურების ცალკეულ სახეობათა მოთხოვნების რიცხვის დისპერსია და კორელაციური მომენტების ჯამური მნიშვნელობები მიზანშეწონილია, რომ განისაზღვროს ექსპერიმენტალურად, მულტისერვისულ სატელეკომუნიკაციო ქსელებში რიგების სიგრძეების,საშულო მნიშვნელობების გამოთვლის მიზნით.
6. მოთხოვნის მომსახურების დროის მოცემული მნიშვნელობისათვის ალბათობათა განაწილების კანონის ცოდნა, სრულად ვერ ასახავს რიგის შესაძლო ზომას, რომელიც წარმოიქმნება მასობრივი მომსახურების სისტემაში. შექმნილი რიგების ზომებზე ძირითად ზეგავლენას ახდენს მოთხოვნათა ნაკადის კორელაციური თვისებები.
7. მომსახურების მუდმივი ხანგრძლიობის რეჟიმისათვის, ნებისმიერი სტაციონალური და ორდინალური ნაკადებისათვის შემოთავაზებულია რიგის სიგრძის საანგარიშო ფორმულა.
8. ჩატარებულია ფრაქტალური პროცესების კვლევასთან დაკავშირებული ცნობილი შედეგების ანალიზი, რომლებშიც:
 - განხილულია ქსელის მაღალსიჩქარიანი ტრაფიკი და მისი კავშირი თანამდევ უსასრულო დისპერსიასთან და თვითმსგავსების თვისებების გამოვლენის ცალკეულ მექანიზმებთან;

- დასაბუთებულია, რომ რეალური ტრაფიკის ფრაქტალური თვისებები ახდენენ ზეგავლენას ქსელის პროექტირების პროცესში წარმოქმნილი პრობლემების ფართო სპექტრზე, მათ შორის ტრაფიკის ნაკადების რიგების ორგანიზებაზე და ამ ზეგავლენის შედეგად წარმოქმნილი უკუქმედების რაოდენობრივი შეფასების მეთოდებზე;
- განხილულია გადაცემის მაღალი სიჩქარის ქსელებში მოთხოვნების მართვის განხორციელებასთან დაკავშირებული საკითხები და რიგების წარმოქმნის შესწავლის საფუძველზე მიღებული შედეგები;
- მიმოხილულია მეცნიერების სხვა სფეროებში შესწავლილი უსასრულო დისპერსიის მოდელები.

9. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები ტრაფიკისათვის, ხანგრძლივი დამოკიდებულებებით, იმისათვის, რომ შესაძლებელი გახდეს ქსელის წარმადობის ანალიზი რიგების არსებობის პირობებში. ასეთი შედეგები დღეისათვის ძალზე მნიშვნელოვანია, რადგანაც ის იძლევა საშუალებას, როდესაც მომსახურების სისტემის შესასვლელზე გვაქვს პროცესი ხანგრძლივი დამოკიდებულებით, დავადგინოთ ქსელის წარმადობის შესაძლო საზღვრები. კერძოდ, ჩვენ ვიხილავთ შემთხვევას უსასრულო ტევადობის ბუფერში რიგის სიგრძის განაწილების კანზომიერების შესახებ, რომელიც ხანგრძლივი დამოკიდებულების შემთხვევაში, მიიღევა გაცილებით მდორედ, ვიდრე ექსპონენციალური კანონით განაწილების შემთხვევაში, რომელიც შეესაბამება სტაციონალური ხასიათის, ანუ ნორმალური განაწილების შესაბამის ნაკადს. ასეთი შინაარსის ამოცანების ამოხსნა, შესაძლებელია ფრაქტალური, ანუ

თვითმსგავსი პროცესებისათვის აღწერილი მახასიათებლებისა და თვისებების საფუძველზე. მოცემულ კვლევაში საქმე გვაქვს ბიტების, პაკეტების ან უჯრედების შემოსვლისა და გადაცემის ნაკადებთან, რომელთა ინტენსიობა ქმნის შესაბამის ტრაფიკს. ამასთანავე ინტენსიობას ვუკავშირებთ იმ დროის მომენტებს, როდესაც შემოდის, ან ბუფერიდან/სისტემიდან გადის ბიტი, პაკეტი ან უჯრედი. ე. ი. ჩვენ საქმე გვაქვს დროის მომენტების ნაკადთან, ან დროის მომენტებს შორის დროის შუალედების ნაკადთან. ე.ი. ყველაფერს ვიხილავთ დროსთან მიმართებაში.

დისერტაციის მეოთხე თავი: ტელეტრაფიკის კლასიკური თეორიის შედეგების გამოყენების შესაძლებლობა მულტისერვისული ქსელის ანალიზისათვის - ეძღვნება პაკეტური ტექნოლოგიის ქსელებში სატელეკომუნიკაციო რესურსების გაზრდას, მაღალი მწარმოებლობის არხების გამოყენებას და იმ მოსაზრების განვითარებას, რომ ტოპოლოგიური პროექტირების ამოცანების გადაწყვეტის შედეგად შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნას სატელეკომუნიკაციო ქსელები მცირე დაყოვნებებით, რადგანაც „დიდი რიცხვების კანონის“ ზემოქმედება იწვევს ტრაფიკის პულსირებული ხასიათის მოსწორების ეფექტს.

მეოთხე თავში განხილულია შემდეგი საკითხები:

- პაკეტური კომუტაციის ძირითადი პრინციპები (დეიტაგრამული და ვირტუალური არხების რეჟიმები);
- მომსახურების სისტემა ცვლადი ინტენსიობის ხასიათის პაკეტური ნაკადის რეჟიმში;
- მომსახურების სისტემა მოთხოვნათა არასტაციონარული ნაკადის მომსახურების რეჟიმში;
- მრავალსერვერიანი სისტემა რიგებითა და ცვლადი ინტენსიობის ტრაფიკით.

და მიღებულია შემდეგი შედეგები:

1. მომსახურების ერთსერვერიანი სისტემისათვის თუ როგორ შეფასდეს მომსახურების ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც განსაზღვრულია, როგორც დაყოვნებით მომსახურებული მოთხოვნების რაოდენობის ფარდობა შემოსული მოთხოვნების საერთო რიცხვთან;
2. გაანალიზებულია ერთსერვერიანი სისტემის მოქმედება ლოდინის ერთი ადგილითა და შეზღუდული რიგით;
3. განსაზღვრულია მომსახურების გარეშე დარჩენილი მოთხოვნები, როდესაც მოთხოვნების შემოსვლისა და მომსახურების ინტენსიობები დროზე დამოკიდებული სიდიდეებია;
4. შესწავლილია რიგის ალბათური მახასიათებლები, როდესაც მომსახურების ინტენსიობა დამოკიდებულია რიგის სიგრძეზე;
5. შესწავლილია მრავალსერვერიანი სისტემა რიგებითა და ცვლადი ინტენსიობის ტრაფიკით.

პუბლიკაციები დისერტაციის თემაზე

1. კოპლატაძე მ., გელხვიძე პ., მარდალეიშვილი ზ. მულტისერვისული ქსელის საარხო რესურსის განსაზღვრის საკითხისათვის. // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები, ქუთაისი, საქართველო, 25-26 მაისი, 2013. მოხსენებათა კრებული, გვ. 333-337;
2. მარდალეიშვილი ზ., გელხვიძე პ., კოპლატაძე მ., მოთხოვნათა ნაკადების თვისებები და მახასიათებლები მულტისერვისულ ქსელში. // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - მდგრადი ენერგეტიკა:

გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები, ქუთაისი, საქართველო, 18 ივნისი, 2015. მოხსენებათა კრებული, გვ. 137-141;

3. მარდალეიშვილი ზ., გელხვიძე პ., კოპლატაძე მ., კუპატაძე თ. ტრაფიკის ახალი სახეობები და სატელეკომუნიკაციო ქსელში მომსახურების ხარისხის ევოლუცია. // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები, ქუთაისი, საქართველო, 24-25 ოქტომბერი, 2015. მოხსენებათა კრებული, გვ. 139-142;

ავტორის პირადი წვლილი: გამოკვლევების თეორიული და პრაქტიკული შედეგები, მათგან გამომდინარე დასკვნები მიღებულია ავტორის მიერ.

Abstract

Relevance – Creation, implementation and utilization of mono-service networks is based upon the knowledge of traditional methodology for defining and modelling traffic in telecommunication networks. In particular, network traffic qualities; requirements towards quality of service; types of traffic – uninterruptable traffic, elastic traffic, unified traffic. For the purpose of traffic modeling, it needs to be described in mathematical terms, namely arrival of bytes, packets etc. as point process. A point process consists of a sequence of arrivals instants T_1, T_2, \dots, T_n . The pulsing structure of traffic, need for defining dispersion index, picks for traffic, pick time dimensions and measuring picks for variety of services such as video-traffic , ATM and Ethernet traffic.

In the multi-service networks emphasis are made on studying the arrival of request flows, based on the results of the study the problems arising in the network can be discussed and resolved. Thus, activities related to modeling the network are, conducting complicated calculations, while fundamental theory that allows such complicated calculations is the theory of request flows, one of the most complete theories. That is why, the proposed thesis covers “Qualities and Features of Request Flows”, to apply the results in studying pulsing or structural flows. In this case the correlation function is a main criteria. The specific feature of correlation function for self-similar processes in comparison to the correlation function of normal processes is that distribution is polynomial but not exponential.

At the first stage, the research focus was identification of causes for self-similarity in teletraffic.

In real networks the resources are limited, the sources of traffic are large and while accessing those scarce resource the sources of traffic become interdependent. In case of network overload, non-linearity appears in control mechanisms such as Transmission Control Protocol (TCP), Ethernet etc. The utilization of network resources happen on every level of network architecture, thus providing opportunity to distribute existing resources optimally, based on statistics. Modern multi-service network is telecommunication system with medium accumulation, thus traffic in it is flattened, which is evident in packet switching based on Leonard Kleinrock. Based on this, existing classic theory can be applied to packet flows.

When the scale of these processes is enlarged, in addition to statistical similarity they also show self-similarity.

The scientific novelty derived from the given research are:

- In case of independent sources of traffic, self-similarity is created by the accumulation of number of individual on/off sources. The distribution of active and passive periods of the source has tail and unlimited dispersion. The unified traffic is self-similar, and resembles Brownian motion fractionality. However, it has significant sources of disparity i.e. limited resources of the network causes interdependency between sources of information.
- The main factors for long-range dependence in network traffic are:
 - Customer behavior
 - Data generation, structure and search;
 - Traffic unification;
 - Network Control equipment;
 - Feedback based control mechanisms;
 - Network development
 - The thesis offers method for calculating average mean of traffic queuing, based on measuring correlation and dispersion of traffic on paths. The results of the research are covering issues of modeling and utilization of multi-service networks.