

მულტისერვისული ქსელების ტექნოლოგიები

(ლექციების კონსპექტი)

შეადგინა: მ.კობლატაძემ, თ.კუპატაძემ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წ.

შინაარსი

83

შესავალი

3

მულტისერვისული ქსელის კონცეპციის განვითარების ძირითადი მიზანი

4

ინტელექტუალური ქსელიდან შემდეგი თაობის ქსელის არქიტექტურაზე გადასვლის კონცეპცია

6

კომუტაციის თანამედროვე ტექნოლოგიები

15

დასკვნა

24

მომსახურების ხარისხის მაჩვენებლები

24

პაკეტური კომუტაციის ძირითადი პრინციპები

27

ტელეტრაფიკის ძირითადი პრობლემები

31

მულტისერვისული ქსელის ტელეტრაფიკი

42

სისტემა მოთხოვნათა შემოსვლისა და მომსახურების ცვლადი ინტენსიობებით

43

ორი ფაზით მომსახურე სისტემა

44

ერთარხიანი სისტემა შეზღუდული რიგით

46

სისტემა მოთხოვნათა არასტაციონარული ნაკადის მომსახურების რეჟიმში

47

ტრაფიკის მომსახურების ანალიზი დეიტაგრამული რეჟიმის სისტემებში

50

მრავალარხიანი სისტემა რიგებითა და ცვლადი ინტენსიობის ტრაფიკით

54

ლიტერატურა

59

შესავალი

საერთაშორისო ექსპერტების თვალსაზრისით XXI საუკუნე იქნება გლობალური ინფორმაციული საზოგადოების საუკუნე. მის საფუძველს წარმოადგენს გლობალური ინფორმაციული ინფრასტრუქტურა (Global Informational Infrastructure-GII), რომელიც მოიცავს კავშირგაბმულობის მძლავრ სატრანსპორტო ქსელებს, ინფორმაციის დამუშავებისა და განაწილების სისტემებს, მომსახურების მრავალფეროვან საინფორმაციო სახეობებთან მიერთების საშუალებებს.

ყველა განვითარებულ ქვეყნებში მიმდინარეობს გლობალური ინფორმაციული ინფრასტრუქტურის შექმნისა და განვითარების სამუშაოები, რომლებიც ითვალისწინებს განვითარებადი ქვეყნების მოქცევას მსოფლიოს ერთიან საინფორმაციო სივრცეში. ამ საქმიანობაში ჩართულია მრავალი საერთაშორისო ორგანიზაცია და მათ შორის ყველაზე ავტორიტეტული ინფოტელეკომუნიკაციის სფეროში - ელექტროკავშირგაბმულობის საერთაშორისო საბჭო (ITU). ამასთან ერთად, ტელეკომუნიკაციის დარგში სამეცნიერო-თეორიული და გამოყენებითი კვლევების ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს თანამედროვე ქსელებისა და სისტემების ფუნქციონირების ხარისხობრივი მაჩვენებლების რაოდენობრივი შეფასების ახალი მეთოდების დამუშავება.

ტელეკომუნიკაციის ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ და მომსახურების ახალ საფეხურებზე მოთხოვნების ზრდამ გამოიწვია მომსახურების ახალი სახეობების შექმნისა და მათი უსწრაფესად დანერგვის აუცილებლობა. ამ ფაქტორების ზეგავლენით ჩამოყალიბდა ინტელექტუალური ქსელების (IN) კონცეპცია, სადაც პირველად, მკაფიოდ იქნა ფორმულირებული ინფოკომუნიკაციური მომსახურების უზრუნველყოფის, სატელეფონო გამოძახებების მომსახურებიდან განცალკევების პრინციპი. შემდეგი თაობის ქსელების კონცეპციაში განვითარებულია ინტელექტუალური ქსელების ძირითადი იდეა - ფუნქციების გამიჯვნა ცალკეულ ბლოკებს შორის, სტანდარტიზირებული ინტერფეისების საშუალებით.

დღევანდელ ეტაპზე ინტერნეტი და Web-ტექნოლოგიები განსაკუთრებულად არის განვითარებული და გაძლიერდა მონაცემთა გადაცემის ქსელებისა და საერთო სარგებლობის ქსელის შემდგომი დაახლოების ტენდენციები. მონაცემთა გადაცემის ტრაფიკი სწრაფი ტემპებით იზრდება და ყველა განვითარებულ ქვეყანაში უკვე

გადააჭარბა სატელეფონო კავშირის ტრაფიკს. მონაცემთა გადაცემისათვის პერსპექტიული აღმოჩნდა კავშირგაბმულობის ქსელები პაკეტების კომუტაციით, რომელიც უკვე ფართოდ გამოიყენება ინფორმაციის ნებისმიერი სახეობის გადაცემისათვის, მაგალითად სამეტყველო ინფორმაციის გადაცემის ტექნოლოგია IP (Voice over IP - VoIP) ქსელებში. ქსელების არქიტექტურა განუხრელად რთულდება, განსხვავდებიან შემოთავაზებული მომსახურების სახეობებითა და დანიშნულებით. აღნიშნულის საფუძველზე ჩამოყალიბდა ახალი (შემდეგი) თაობის ქსელების (Next Generation Networks - NGN) კონცეპცია.

დღეისათვის შემდეგი თაობის ქსელს შეუძლია გააერთიანოს ტელეკომუნიკაციის ინდუსტრიის ყველა სფერო - ტრადიციული სატელეფონო ქსელები და ინტერნეტ მომსახურება, კორპორატიული ქსელები და საერთო სარგებლობის ქსელები, სატრანსპორტო ქსელები და მიერთების ქსელები, სადენიანი და უსადენო ქსელები, სრულიად განსხვავებული ტექნოლოგიური ბაზისა და მომსახურების სახეობების ქსელები: შემდეგი თაობის ქსელების მთავარი თავისებურებაა - ღია მოდულური არქიტექტურა, რაც იძლევა ახალი მოდულების დამუშავებისა და დანერგვის საშუალებას და ამის საფუძველზე მარტივდება ახალი ტექნოლოგიების, მომსახურებათა სახეობებისა და ფუნქციების დანერგვა და ურთიერთქმედება არსებულ ქსელებთან.

ყოველივე ამის საფუძველზე უნდა ვივარაუდოთ, რომ უახლოეს წლებში ტელეტრაფიკის თეორიისა და რიგთა თეორიის სპეციალისტების სამეცნიერო აქტივობა გაიზრდება. ვიმედოვნებთ, რომ ტელეკომუნიკაციის დარგის ახალი მიმართულებები საქართველოშიც მიაღწევს სრულყოფილებას და გახდება კომპიუტერული და ტელეკომუნიკაციური ქსელებისა და მისი კომპონენტების ანალიზის, მოდელირებისა და ოპტიმიზაციის ახალი ტექნოლოგიის საფუძველი.

მულტისერვისული ქსელის კონცეპციის განვითარების ძირითადი მიზანი

დღეისათვის, მთელი მსოფლიოს მასშტაბით სატელეკომუნიკაციო სივრცეში ერთ-ერთი, ყველაზე აქტიურად განვითარებადი მიმართულებაა „შემდეგი თაობის ქსელების„ შექმნის კონცეპცია (Next Generation Networks - NGN). სხვა და სხვა საერთაშორისო

ორგანიზაციები და პრაქტიკულად ყველა სატელეკომუნიკაციო საშუალებების აღიარებული მწარმოებლები, გვთავაზობენ ასეთი ქსელების აგების განსხვავებულ მიდგომებს.

NGN-ის შეცნობის ძირითადი იდეა, ეს არის ინტელექტუალური ქსელის (Intelligent Networks-IN) კონცეპციაში ჩასახული - მოთხოვნათა მომსახურების ფუნქციონალური განცალკევება, რაც შეესაბამება ღია განაწილებული არქიტექტურის მახასიათებლებს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელში მონაცემთა ქსელური ბაზა აღარ არის მხოლოდ ინფორმაციის შენახვის საშუალება. მონაცემთა ბაზის როლი გადაიზარდა, არამარტო ატს-დან მოთხოვნებზე პასუხების ფორმირებაში, არამედ მონაცემთა ბაზიდან ბრძანებების გადაცემაში, თუ როგორ უნდა იქნას მომსახურებული შემოსული მოთხოვნა. ასეთმა ფუნქციონალურმა გაფართოებამ განაპირობა მონაცემთა ქსელური ბაზის თანამედროვე დასახელება - მომსახურების მართვის პუნქტი (ან კვანძი) SCP, ხოლო მასთან ურთიერთქმედებაში არსებულ საკომუტაციო კვანძებს და სადგურებს კი ეწოდათ მომსახურებათა კომუტაციის პუნქტები (კვანძები).

SCP შემადგენელ პროგრამული უზრუნველყოფის მოწყობილობებში, გარდა მონაცემთა ბაზებისა, არსებობს მომსახურების სახეობათა ლოგიკის პროგრამული უზრუნველყოფაც, რომელიც იძლევა მომსახურების აღწერას და შესაბამისად გამოყენების საშუალებას. მომსახურების ლოგიკა საკომუტაციო კვანძიდან "მოეფინება" ქსელს, რაც განაპირობებს ინტელექტუალური ქსელის წარმოქმნის კონცეპციას.

ინტელექტუალური ქსელისა და IP-ქსელის კონვერგენციამ გამოიღო შედეგად მომსახურებათა ევოლუცია შემდეგი თაობის ქსელებისათვის, რომლებშიც ჩამოყალიბდა შემდეგი ძირითადი თავისებურებები:

1. ქალაქის სატელეფონო ქსელის ძირითადი შემადგენლის, არხების კომუტაციის კვანძების (ატს), როგორც ერთი მწარმოებლის პროგრამულ-აპარატურული სისტემის გარდაქმნა, ქვემოთ ჩამოთვლილი ოთხი მიმართულების უზრუნველყოფელი ტექნოლოგიებისა და ტექნიკის ნაკრებად:

- მიერთების;
- კომუტაციის;
- მომსახურების;
- ექსპლუატაციის.

2. ჩამოთვლილი, ოთხი მიმართულების მოწყობილობების უზრუნველყოფა, ღია ინტერფეისებითა და სტანდარტული პროტოკოლებით:
 - V5;
 - ISUP/R1,5;
 - INAP;
 - X25/Q3/SNMP.
3. გამოყენებული ტექნოლოგიებისაგან თითოეული მიმართულების პროგრამულ-აპარატურული საშუალებების სრული დამოუკიდებლობის უზრუნველყოფა:
 - SDH;
 - TDM;
 - ATM;
 - IP (IP/MPLS).
4. პირველ პუნქტში ჩამოთვლილ ყველა მიმართულებაში, სტანდარტული და ტექნოლოგიურად უნიფიცირებული ელემენტების გამოყენება:
 - WLL და კონცენტრატორები V5-ით;
 - არხებისა და პაკეტების კომუტატორები;
 - ქსელების ურთიერთგადასასვლელეები (შლიუზები) და Softswitch;
 - SCP და მომსახურების პუნქტები.

ინტელექტუალური ქსელიდან შემდეგი თაობის ქსელის არქიტექტურაზე გადასვლის კონცეპცია

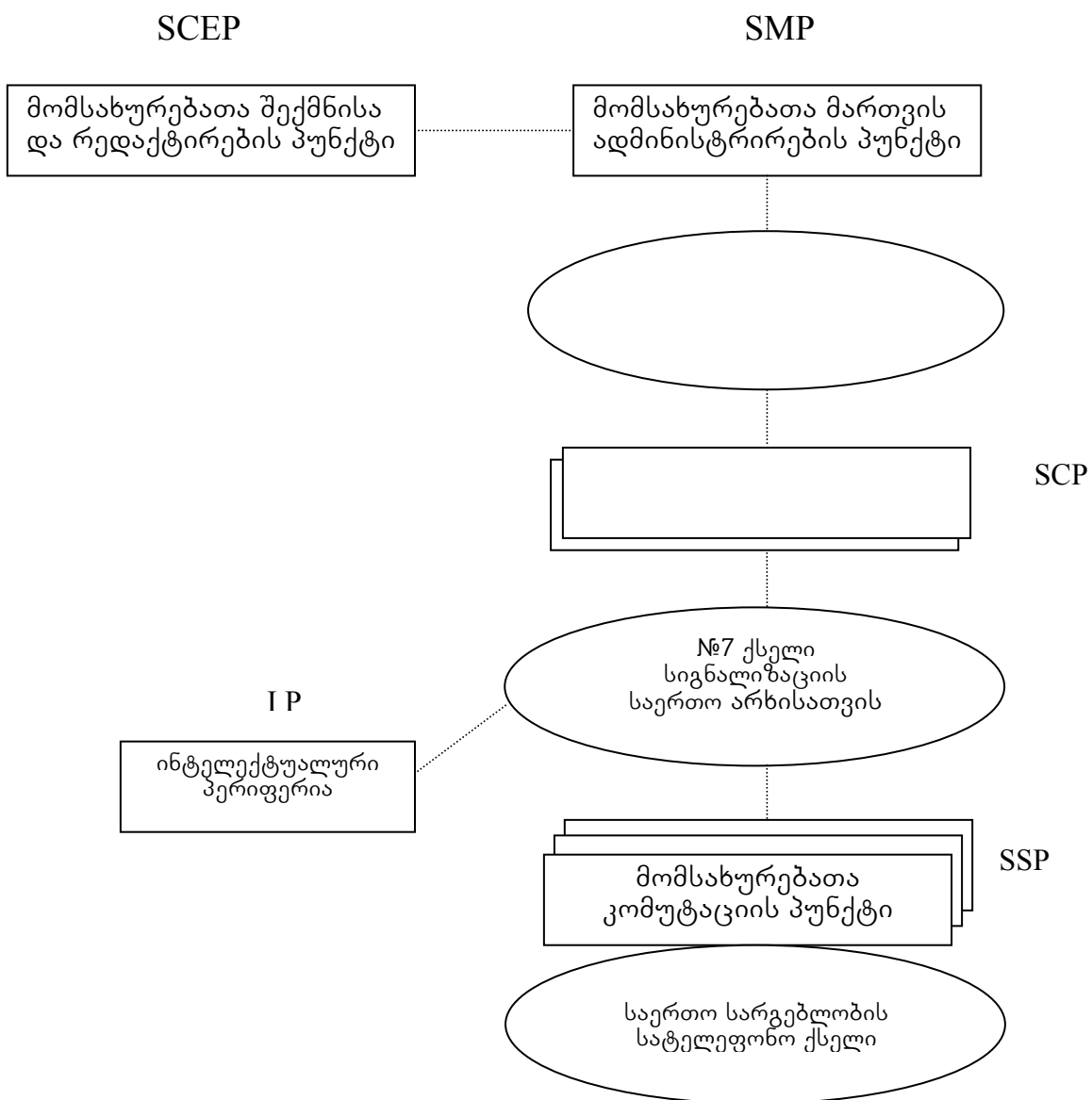
ტელეკომუნიკაციის ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ და მომსახურების სახეობებზე მოთხოვნების ზრდამ გამოიწვია მომსახურების ახალი სახეობების შექმნისა და მათი სწრაფი დანერგვის აუცილებლობა. ამ ფაქტორების ზეგავლენით ჩამოყალიბდა ინტელექტუალური ქსელების (IN) კონცეპცია, სადაც, პირველად, მკაფიოდ იქნა ფორმულირებული ინფოკომუნიკაციური მომსახურების უზრუნველყოფის, უშუალოდ სატელეფონო გამოძახებების მომსახურებიდან განცალკევების პრინციპი [1].

ინტელექტუალური ქსელის კლასიკური არქიტექტურის სტრუქტურა შედგება ხუთი ძირითადი კვანძისაგან:

- მომსახურებათა მართვის პუნქტი SCP-Service Control Point;

- მომსახურებათა კომუტაციის პუნქტი SSP-Service Switching Point;
- მომსახურებათა მართვის ადმინისტრირების პუნქტი SMP-Service Management Point;
- მომსახურებათა შექმნისა და რედაქტირების პუნქტი SCEP-Service Creation Environment Point;
- ინტელექტუალური პერიფერია IP - Intelligent Periphery.

მომსახურებათა კომუტაციის პუნქტი განთავსებულია უშუალოდ საერთო გამოყენების სატელეფონო ქსელში და №7 სიგნალიზაციის საერთო არხით ურთიერთქმედებს მომსახურების მართვის პუნქტთან.



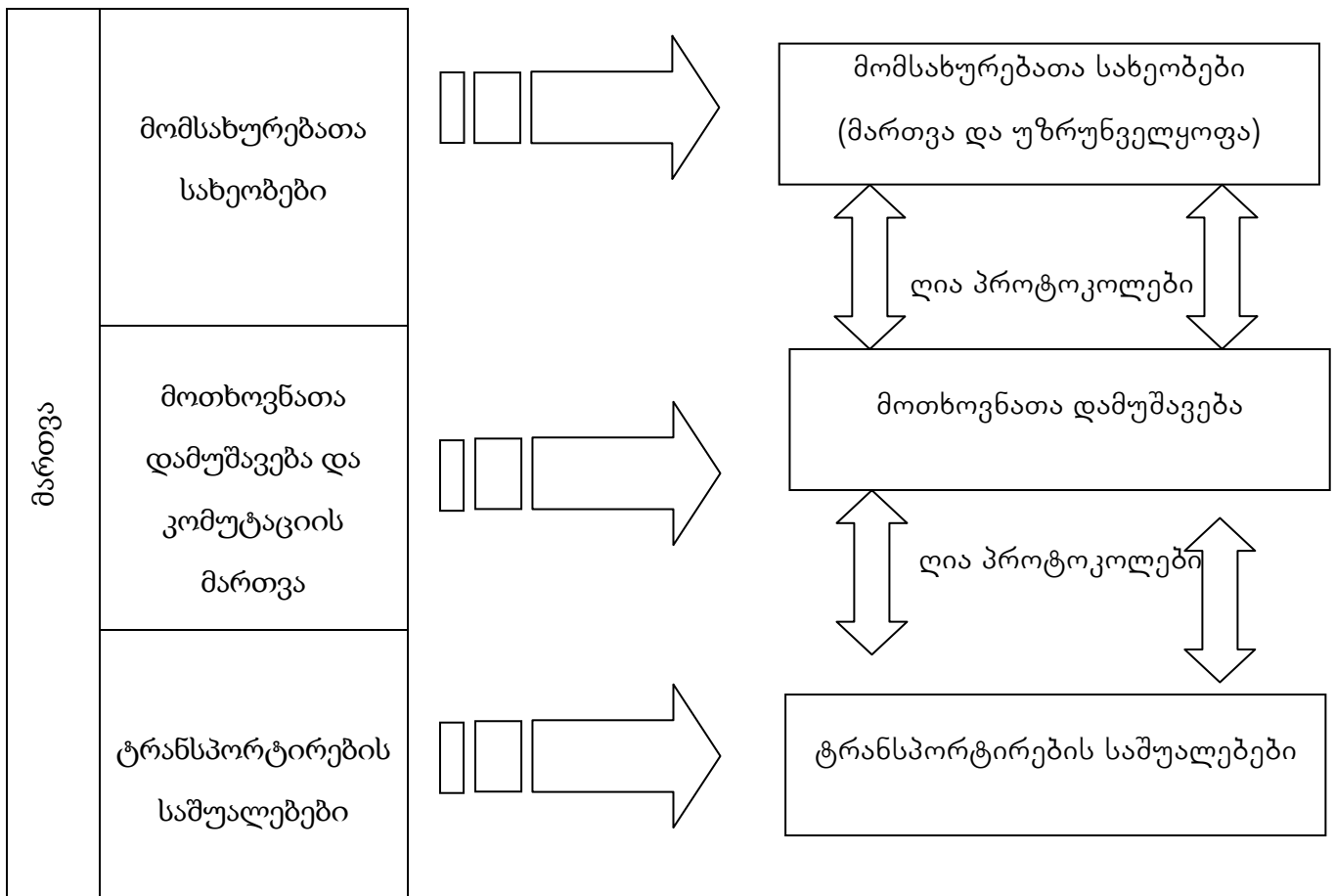
ნახ.1. ინტელექტუალური ქსელის კლასიკური არქიტექტურა

შემდეგი თაობის ქსელების კონცეპციაში განვითარებულია ინტელექტუალური ქსელების ძირითადი იდეა - ფუნქციების გამიჯვნა ცალკეულ ბლოკებს შორის, სტანდარტიზირებული ინტერფეისების საშუალებით. ინტელექტუალური ქსელებისაგან განსხვავებით, შემდეგი თაობის ქსელებში ფაქტორთა ეს გამიჯვნა ღრმავდება, იზრდება მოდულების რიცხვი. რომლებიც მოითხოვენ მრავალფეროვან ინტერფეისებსა და პროტოკოლებს.

ტრადიციული ქსელები აგებულია საკომუტაციო სისტემების ბაზაზე, რომლებიც შეიცავს გადაცემის, მოთხოვნათა მართვისა და მომსახურების ორგანიზაციის სისტემებთან ურთიერთქმედების საშუალებებს. ამასთანავე, ეს მოწყობილობები წარმოადგენენ ერთი მწარმოებლის ერთიან სისტემას, მაგრამ ახალი ფუნქციების დასამატებლად აუცილებელი ხდება ძვირადღირებული გადაკეთება და დახვეწა. ახალი მიდგომით, NGN ქსელი ემყარება ეგრეთწოდებული, „პროგრამული კომუტაციის - softswitching“ [2] გამოყენებას.

არხების კომუტაციის ტრადიციული სისტემა

Softswitching



ნახ.2. „პროგრამული კომუტაციის„ არქიტექტურა

თუ NGN-ის არქიტექტურას წარმოვიდგენთ ცალკეული სიბრტყეების კრებულის სახით, დასაწყისში აღმოჩნდება მომხმარებელთა მიერთების სიბრტყე, რომლებიც შეიძლება წარმოადგენდეს დღეისათვის პრაქტიკაში ცნობილ საშუალებას: სპილენძის სადენებს, ოპტიკურ კაბელს ან რადიოხაზს. ამის შემდეგ მოდის კომუტაციის სიბრტყე, რომელიც შეიძლება წარმოადგენდეს არხების ან პაკეტების კომუტაციის სისტემას. შემდეგი სიბრტყეა, ეგრეთწოდებული, პროგრამული კომუტატორის სიბრტყე ანუ Softswitch, რომელიც, როგორც მთელ რიგ პუბლიკაციებშია, წარმოადგენს პროგრამული მართვის სიბრტყეს, რაც სრულიადაც არ შეესაბამება სინამდვილეს, ვინაიდან ტერმინი „პროგრამული კომუტატორი„ არის არაკორექტული და მხოლოდ და მხოლოდ მარკეტინგული ტერმინია. მართლაც, ყველა ელექტრონული და გასული საუკუნის 80-იან წლებში ამოქმედებული კვაზიელექტრონული სადგურები მიეკუთვნებიან კომპიუტერული ტექნიკით გამოძახებების დამუშავების პრინციპებს. მარკეტინგულ მიდგომაში, კი პროგრამული კომუტაციის მოწყობილობები წარმოადგენილია, როგორც NGN ქსელური ინფრასტრუქტურის ძირითადი ელემენტი.

სინამდვილეში, რასაც პროგრამულ კომუტატორს, ანუ Softswitch, უწოდებენ, ასრულებს უნივერსალური პროგრამულ-აპარატურული კომპლექსის, სიგნალიზაციის უნივერსალური გარდამსახის ანუ კონვერტორის ფუნქციას. ეს აუცილებელია სხვა და სხვა ტიპის ქსელების ფუნქციონალური გაერთიანებისათვის, ან, შეიძლება ასედაც ითქვას, რომ Softswitch ახდენს სხვა და სხვა ტიპის ქსელების მომსახურების სახეობების ინტეგრირებას.

Softswitch-ის შემდგომ მოდის ინტელექტუალური მომსახურებისა და საექსპლუატაციო მართვის სიბრტყე.

აქედან გამომდინარე, მულტისერვისული სააბონენტო კონცენტრატორები, რომლებიც კომუტაციის სიბრტყის წინ არის განლაგებული, შეესაბამება ოპერატორების ინტერესებს, ვინაიდან ოპერატორები მუშაობენ სპეციფიურ პირობებში, როდესაც მომხმარებლების 5, მაქსიმუმ კი 10% აქვს მოთხოვნილება მიიღოს ფართოზოლოვანი მიერთების მომსახურებები, ხოლო აბონენტების გარკვეული რიცხვი დღესაც არ სცილდება ჩვეულებრივ სატელეფონო მომსახურებას. ამიტომ, ჩვენს პირობებში, ჩვენი ოპერატორის ბიზნეს-გეგმისათვის განსაკუთრებულად აქტუალურია მიდგომა "NGN იწყება მიერთების ქსელიდან (ბოლო მილიდან)" [3-6].

ამჟამად კავშირგაბმულობის ქსელების მოქმედება განისაზღვრება არხების კომუტაციაზე დაფუძნებული პრინციპით, რაც იმას ნიშნავს, რომ კავშირი მყარდება „წერტილი-წერტილთან“, წესით და შეერთებისათვის აუცილებლად არის დაკავებული არხი.

NGN ქსელის ეკონომიკური პროდუქტიულობა კი იმაში მდგომარეობს, რომ არხებით შეერთების პრინციპით დამყარების წესიდან გადავდივართ ვარიანტზე: „ყველა დაკავშირებულია ყველასთან“, წესთან. ამ შემთხვევაში ყველა საინფორმაციო რესურსები ხდება ხელმისაწვდომი, იმისგან დამოუკიდებლად თუ სად იმყოფება აბონენტი. ასეთი სრულმდგრადი ჩართვის კონცეპცია ჩაისახა ინტერნეტის ქსელიდან: მომხმარებელი შედის ინტერნეტში, სადაც დაისაჭიროებს და ღებულობს კავშირის საშუალებას მთელ მსოფლიოსთან.

შემდეგი თაობის ქსელი გვესახება როგორც უნივერსალური სისტემა ნებისმიერი ინფორმაციის გადაცემისათვის - ტელეფონიდან და ინტერაქტიური ტელეხედვიდან დაწყებული, ელექტრომრიცხველების ჩვენების შემოწმებით დამთავრებული.

NGN (“Next step generation”) არის შემდეგი თაობის ქსელი - ეს არის ჰეტეროგენული, მულტისერვისული ქსელი, რომელიც უზრუნველყოფს ყველა სახის მედიატრაფიკის გადაცემას და სატელეკომუნიკაციო მომსახურების ფართო სპექტრის სიახლეთა დამატებებს, რედაქტირებებს და განაწილებული ტარიფიკაციის შესაძლებლობებს.

ქსელის ძირითადი საინფორმაციო-ტექნიკური მახასიათებლები, რომლებიც განსაზღვრავს მომხმარებელთა მომსახურების გარანტირებულ ხარისხს და საერთოდ ქსელის ქმედითუნარიანობას არის შემდეგი:

- სატრანსპორტო მაგისტრალების გამტარუნარიანობა ან გადაცემის სიჩქარე;
- ქსელის კვანძებში შემომავალი და გამავალი ტრაფიკის მოცულობა;
- ქსელის ტრაქტებში და მაგისტრალებში ჯამური ტრაფიკის მნიშვნელობა;
- ქსელის საიმედოობა და მზადყოფნის კოეფიციენტი.

თანამედროვე კავშირგაბმულობის ციფრული ქსელები დამატებით მოითხოვს ქსელის შემდგომი გაფართოებისა და განვითარების შესაძლებლობის არსებობას და შემდეგი ფაქტორების გათვალისწინებას:

- საჭირო გატარების ზოლის უზრუნველყოფას;
- ქსელის გაფართოებისა და მასშტაბირების შესაძლებლობას;
- ქსელის მართვადობას;

- სხვა და სხვა ტრაფიკების ინტეგრაციის შესაძლებლობას;
- გადაცემის და კომუტაციის ციფრული სისტემების ურთიერთთავსებადობას;
- ქსელის არხებისა და ტრაქტების რეზერვირებას; ქსელის საიმედოობისა და მზადყოფნის უმაღლესი მაჩვენებლების უზრუნველსაყოფად.

ტრაფიკის განაწილების ანალიზის საფუძველზე ხორციელდება მაგისტრალური ქსელის დაგეგმვა და ორგანიზება, მაგრამ, ამასთანავე, ქსელში პირველადი ტრაფიკის ანალიზისა და კომუტაციის ფუნქციით ნაკადების გაცვლის იერარქიის საფუძველზე, განისაზღვრება ქსელის საჭირო დატვირთვა.

მასობრივი მომსახურების თეორია შეისწავლის მოთხოვნათა შემთხვევითი ნაკადების მომსახურების სისტემებსა და მათში არსებულ ვითარებებს შეზღუდული რაოდენობის რესურსების პირობებში [7, 8]. მომსახურების, ანუ რესურსების დაკავების ხანგრძლიობა შემთხვევითი სიდიდეა. მასობრივი მომსახურების თეორიაში ძირითად ცნებებს წარმოადგენს: მომსახურების რეჟიმი, მოთხოვნათა ნაკადები (ტრაფიკი), მომსახურების ხანგრძლიობის განაწილების კანონი, მომსახურებაზე უარების ალბათობა, მომსახურებაზე არსებულ რიგში ლოდინის საშუალო დრო, მომსახურების სისტემის გამტარუნარიანობა.

ტელეტრაფიკის თეორიის საშუალებით პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის დროს, სხვა და სხვა შემთხვევითი პროცესების შესაბამისი ნაკადები უმეტესად აღიწერება პუასონის განაწილებით [7, 9]. ასეთი დაშვება არ არის გამოყენებული ანალიზის გამარტივების მიზნით, არამედ, უმეტეს შემთხვევებში ის ემთხვევა რეალურ პროცესებს, ვინაიდან პუასონის ტიპის ნაკადები, გარკვეული თვალსაზრისით, წარმოადგენს ზღვრულ ნაკადს. მაგალითად, თუ ნაკადი მიღებულია განსხვავებული სტრუქტურის, დიდი რაოდენობის ნაკადების შეკრების (ან ზედდების) საფუძველზე, ჯამური ნაკადი, პირობების ფართო დიაპაზონში, ახლოს იქნება პუასონის ნაკადთან. ასევე, რთულ ტექნიკურ სისტემებში, რომლებიც შედგება ელემენტების დიდი რაოდენობისაგან, მტყუნებათა ნაკადები დაჯამდება ცალკეული ელემენტების მტყუნებათა ნაკადებისაგან და შესაბამისად ეს ნაკადებიც ახლოს არის პუასონის ტიპის ნაკადთან. შესაბამისად შეიძლება აღიწეროს მტყუნებათა პროცესები ტექნიკურ სისტემებში და მათ შორის ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ხაზების ქსელებში.

მომსახურების რეჟიმი შეიძლება იყოს პრიორიტეტით ან პრიორიტეტის გარეშე. პრიორიტეტის გარეშე მომსახურების რეჟიმი თავისთავად ითვალისწინებს მოთხოვნათა

შესაძლო კარგებს (უარებს მოთხოვნათა მომსახურებებზე), ლოდინს (უარების გარეშე), მომსახურების შერეულ რეჟიმს, როდესაც მოთხოვნის ლოდინის დრო ან რიგის სიგრძე შეზღუდულია.

მოთხოვნათა ნაკადი (ტრაფიკი) შეიძლება იყოს სტაციონარული, არასტაციონარული, ორდინალური, არაორდინალური. პირველად ციფრულ ქსელში ნაკადის მახასიათებელი ყველაზე მეტად შეესაბამება სტაციონარულ ნაკადს. თუ გამოვიყენებთ პუასონის ნაკადის მოდელს, რომელიც აკმაყოფილებს სტაციონარულობის, ორდინალურობის და უუკუქმედებობის პირობებს შეიძლება განვსაზღვროთ მომსახურებისათვის შემოსულ მოთხოვნებს შორის დროის შუალედების განაწილების სიმკვრივე, ერთი არხით მომსახურების საშუალო დრო და უარის ალბათობა.

დამყარებულ რეჟიმში, N-არხიანი მომსახურების სისტემაში, რომელიც მუშაობს პრიორიტეტის რეჟიმის გარეშე, მომსახურებაზე შესაძლო უარებით, K რაოდენობის დაკავების ალბათობა ($0 \leq K \leq N$) ან მომსახურებაზე უარის ალბათობა (ე.ი. ყველა N არხის დაკავების ალბათობა) განისაზღვრება ერლანგის ფორმულით [10]:

$$P_t = P_N = \frac{E^N / N!}{\sum_{K=0}^N E^K / K!}$$

სადაც E - არის ერთი არხით მომსახურების საშუალო ხანგრძლიობაზე მოსული, ანუ ერლანგებში გამოხატული ტრაფიკის სიმკვრივე (საზოგადოდ მოვლენათა ნაკადის სიმკვრივე). მოვლენათა ნაკადის (ტრაფიკის) ინტენსიობის ან E სიმკვრივის ფიზიკური არსი, ეს არის დროის ერთეულზე მოსული მოვლენათა საშუალო რიცხვი [7]. მოვლენათა ნაკადის, ანუ ტრაფიკის სიკვრივე, შეიძლება იყოს დროის ნებისმიერი, არაუარყოფითი ფუნქცია და აქვს განზომილება $[1/წმ]$.

ნებისმიერი ქსელის საფუძველს წარმოადგენს მაგისტრალური ქსელი, და იმის შესაბამისად, თუ როგორ არის იგი დაპროექტებული, განისაზღვრება ინფოკომუნიკაციური ქსელისა და მიწოდებული მომსახურებათა სახეობების მომავალი განვითარება. უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა ინფორმაციული ნაკადების გაერთიანების შემთხვევაში, მაგისტრალური ქსელის წინაშე წამოიჭრება ახალი ამოცანები. მათ შორის უმნიშვნელოვანესია მასშტაბირების შესაძლებლობა. რადგანაც, ქსელში აბონენტებისა და მათ მიერ გამოყენებული საინფორმაციო ნაკადების რიცხვის ზრდა მოხდება

თანდათანობით, მაგისტრალის გამტარუნარიანობის ზრდის შესაძლებლობა ახდენს განსაკუთრებულ ზეგავლენას ინფოკომუნიკაციური ქსელის განვითარებაზე [11-14].

საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელების დაპროექტების საფუძველად ედო დღე-ღამის განმავლობაში განსაზღვრული უდიდესი დატვირთვის საათში შემოსულ აბონენტთა საშუალო აქტიობის შესაბამისი მოთხოვნების რაოდენობა. ამასთანავე, ითვლებოდა, რომ უდიდესი დატვირთვის საათში გაზომილი დატვირთვის მნიშვნელობის შესაბამისად განხორციელებული ქსელის პროექტი და ანალიზი, იქნებოდა გარკვეული კომპრომისი ქსელის რესურსების გამოყენების საშუალო მნიშვნელობის საფუძველზე დაპროექტებასა და ხანმოკლე პერიოდებში დატვირთვის პიკური მნიშვნელობების საფუძველზე დაპროექტებას შორის.

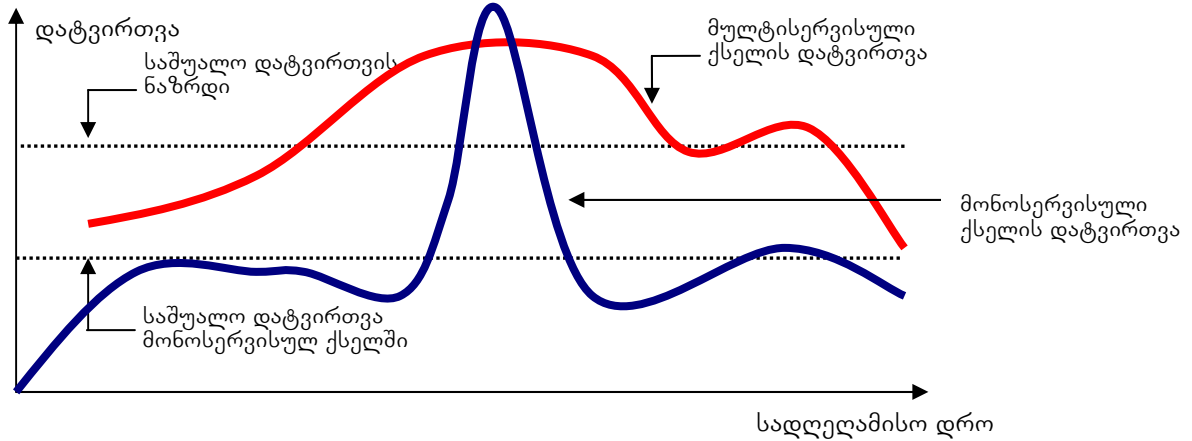
თუ განვიხილავთ ტრადიციულ სატელეფონო ქსელს, უდიდესი დატვირთვის საათში ჩატარებული გაზომვები ადასტურებენ, რომ ინდივიდუალური ტელეფონების გამოყენება შეადგენს საათის 5-10%, ანუ, ყოველი ტელეფონის აპარატი ქმნის 0,05-0,1 ერლანგ დატვირთვას. დაკავების საშუალო ხანგრძლიობაა 3-4 წუთი, ე.ი., ბინის ჩვეულებრივი აპარატიდან უდიდესი დატვირთვის საათის განმავლობაში საშუალოდ შემოდის 1-2 სატელეფონო გამოძახება და ა.შ. აბონენტების კატეგორიების შესაბამისად.

სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი ადასტურებს, რომ ტრადიციული ქსელის რესურსების გამოყენების საშუალო კოეფიციენტი, ნებისმიერ შემთხვევაში არ აღემატება 15-25%. რესურსების გამოყენების მაღალი კოეფიციენტი, მომსახურების ხარისხის უზრუნველყოფის გათვალისწინებით, არ არის უზრუნველყოფილი უდიდესი დატვირთვის საათის განმავლობაშიც კი. მაგალითად, თუ კავშირის ბლოკირების 2%-ით დასაშვები მნიშვნელობის შენარჩუნებით არხის გამოყენება უდიდესი დატვირთვის საათში არ აღემატება 66%.

მეორეს მხრივ, ქსელში მხოლოდ ერთი, სატელეფონო მომსახურების სერვისის უზრუნველყოფა, შეესაბამება შეზღუდული დროის პერიოდის განმავლობაში სადღეღამისო ტრაფიკის მაღალ კონცენტრაციას (ნახ.3).

რესურსების გამოყენების კოეფიციენტების აღნიშნული მნიშვნელობა, არის იმდენად დაბალი, რომ შეიძლება ითქვას, სხვა ტიპის საწარმოთა რესურსების გამოყენების კოეფიციენტებს მნიშვნელოვნად ჩამორჩება და შესაბამისად ყოველი ბიტი ინფორმაციის გადაცემა მონოსერვისულ ქსელში 4-ჯერ აღემატება პოტენციალურად შესაძლო მნიშვნელობას. მომსახურების სახეობების გაფართოება იძლევა,

მულტისერვისული ქსელის ტრაფიკის ზრდის გამო ტრადიციულ, სატელეფონო ქსელთან შედარებით, ჯამური დატვირთვის თანაბარ მახასიათებელს (ნახ.3).



ნახ.3. ტრაფიკის ხასიათი მონოსერვისული და მულტისერვისული ქსელებისათვის

შესაბამისად, მაგისტრალური ქსელის ტევადობის განსაზღვრისათვის, მინიმალური მოთხოვნების დონეზე, გასათვალისწინებელია შემდეგი ტიპიური მონაცემები: ქსელის აბონენტების ტელეფონის აპარატების სიმკვრივე მოსახლეობის რიცხოვნობის 40%; ინტერნეტისათვის 4%, 56 კბიტ/წმ სიჩქარით მიერთებული მაგისტრალზე; იმ ორგანიზაციებისა, რომლებიც მიერთებულია 128 კბიტ/წმ სიჩქარით, 5%; სატელეფონო ტრაფიკის დატვირთვის კოეფიციენტი შეადგენს 0,15 ერლანგს; ინტერნეტის ტრაფიკისათვის 0,4 ერლანგს; კორპორატიული ტრაფიკისათვის - 0,5 ერლანგს. ამ მონაცემების საფუძველზე, მაგალითად, 500 ათას კაცის დასახლებისათვის საკმარისი აღმოჩნდება მაგისტრალური ქსელი 3 გბიტ/წმ გამტარუნარიანობით, რომელსაც შეესაბამება SDH ტექნოლოგიის STM - 16დონე.

ქსელის მომხმარებლების ინფოსაკომუნიკაციო თვითშეგნების ამაღლების შესაბამისად ხდება საინფორმაციო ნაკადების მოცულობათა ზრდა. თუ გავიზიარებთ იმ კონტენტოლოგიურ ანალიზს [15], რომელშიც განსაზღვრულია, რომ ყოველი მომხმარებელი უნდა ჩაითვალოს 384 დასახელების საინფორმაციო ნაკადის მომთხოვნელუნარიანად და გავითვალისწინებთ, აგრეთვე ინფორმაციის მიწოდების უზრუნველყოფელი პროტოკოლების თანამედროვე შესაძლებლობებს, ყოველი მომხმარებლისაგან, უნდა ველოდეთ 10-45 მბიტ/წმ შემომავალ და არანაკლებ 256 კბიტ/წმ

გამავალ ტრაფიკებს. ამის შედეგად, მაგისტრალური ქსელის გამტარუნარიანობამ უნდა შეადგინოს 1,5-4,5 ტბიტ/წმ, თუ გადაცემის ყოველ ტრაქტზე სამართლიანად ჩავთვლით ზემოთ განვითარებულ მსჯელობას.

ამრიგად, საინფორმაციო ნაკადების გაერთიანება ერთი ქსელის ფარგლებში, ანუ მონოსერვისული ქსელიდან მულტისერვისულ ქსელზე გადასვლა, მოითხოვს მაგისტრალური ქსელის მასშტაბირებას 1500-ჯერ. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ საინფორმაციო ნაკადების ასეთ მასშტაბებში გამოყენება შესაბამისად გაზრდის კონტენტის მოცულობას, ქსელის მაგისტრალური უბნის გამტარუნარიანობა გაორმაგებულის დონეზე უნდა იქნას გათვალისწინებული, ანუ, მასშტაბირება შესაძლოა მოითხოვდეს 3000-ჯერ გაზრდის აუცილებლობას [16].

კომუტაციის თანამედროვე ტექნოლოგიები

თანამედროვე საინფორმაციო ქსელების აგების ფუნდამენტური პრობლემების გადაჭრაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება კომუტაციის მეთოდების არჩევას. უმნიშვნელოვანესი და ძირითადია საკითხი არსებული ქსელების შესაძლებლობების გათვალისწინებით, თანამედროვე მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად კომუტაციის რომელი მეთოდის არჩევაა სწორი: არსებული არხების კომუტაციის მეთოდი თუ ახლად დასანერგი, პაკეტების კომუტაციის მეთოდი.

პაკეტების კომუტაციის მეთოდის ძირითადი უპირატესობებიდან, აღსანიშნავია:

- გადაცემის შესაძლო სიჩქარეების ფართო არჩევანის უზრუნველყოფა. არხების კომუტაციის ქსელებში ინტეგრალური მომსახურების ციფრული სისტემები ითვალისწინებს გადაცემის შემდეგ სიჩქარეებს (ITU-T 1.230 რეკომენდაცია): 64; 2x64; 384 (6x64); 1536 (24x64) და 1920 (30x64) კბიტ/წმ. ხოლო სხვადასხვა პაკეტური რეჟიმები (x.25, Frame Relay, ATM) იძლევიან $N \times 64$ კბიტ/წმ ნებისმიერი ($N=1, \dots, 32$) სიჩქარით გადაცემის საშუალებას.
- დამყარებული კავშირის განმავლობაში გადაცემის სიჩქარის გარკვეულ ფარგლებში შეცვლის შესაძლებლობა.
- სტატისტიკური მულტიპლექსირების შესაძლებლობების ფართოდ გამოყენება, ვინაიდან ინფორმაციის გადაცემის პროცესში, დროის ნებისმიერ ინტერვალში,

არსებობს თავისუფალი რესურსების გამოყენების და გამტარუნარიანობის მაქსიმალური მაჩვენებლის შენარჩუნების შესაძლებლობა.

პაკეტური კომუტაციის ჩამოთვლილი უიმრატესობანი სასარგებლოა, როგორც კავშირგაბმულობის ოპერატორებისათვის ასევე მომხმარებლებისათვისაც. პაკეტური კომუტაციის რეჟიმი იძლევა საშუალებას, რომ მომხმარებელმა გადაიხადოს მომსახურების ღირებულება ფაქტიურად გადაცემული ინფორმაციის მოცულობის შესაბამისად და არა დამყარებული კავშირის ხანგრძლიობის მიხედვით, როგორც ეს აუცილებელია არხების კომუტაციის რეჟიმის სისტემებში. მომსახურების ანაზღაურების ასეთი გადასახადი გაცილებით მიმზიდველია უმეტესი მომხმარებლებისათვის.

ინფორმაციის გადაცემის ტექნოლოგიების და კომუტაციის მეთოდების შერჩევა განპირობებულია ქსელში ტრაფიკის ხასიათით და მისი ცვლილებების ტენდენციებით. ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში კავშირგაბმულობის ქსელებში დომინირებდა ტელეფონია, რამაც განსაზღვრა არხების კომუტაციის მეთოდების ფართო გამოყენება. დღეისათვის ინტერნეტის მომხმარებელთა რიცხვი განუხრელად იზრდება და უეჭველია, რომ უახლოეს წლებში ეს რიცხვი მიუახლოვდება საერთო მოხმარების კავშირგაბმულობის ქსელში ტელეფონის მომხმარებელთა რაოდენობას. ამრიგად, ინტერნეტით მომსახურება იღებს თითქმის მასობრივ ხასიათს, როგორც ტელეფონია, რაც აუცილებლად არის გასათვალისწინებელი კავშირგაბმულობის ქსელების განვითარების პროექტებში.

ინტერნეტისა და ტელეფონის მომსახურებებისათვის აუცილებელი გადაცემის სიჩქარეების შედარება გვამლევს შემდეგი დასკვნის გაკეთების საშუალებას:

ციფრული ტელეფონია მოითხოვს 64 კბიტ/წმ სიჩქარეს, რაც სრულიად საკმარისია და არ საჭიროებს შემდგომ გაზრდას. პირიქით კი შესაძლებელია, მეტყველების სიგნალების დაბალსიჩქარული კოდირების გამოყენების პერსპექტივები გვამლევს არსებული გადაცემის სიჩქარის რამოდენიმეჯერ შემცირების იმედს.

ინტერნეტისა და სხვა ტელესაინფორმაციო სახეობების გამოყენება გვიკარნახებს, რომ მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეები მოითხოვს გაზრდას. მომხმარებელთა მეტი რაოდენობა გადავა კომპიუტერული ჩართვიდან, გამოყოფილი ხაზებით ჩართვაზე, რომელიც უზრუნველყოფს რამოდენიმე მგბიტ/წმ სიჩქარით მუშაობას. ამ პირობებში ტრაფიკის ხასიათი იქნება პაკეტური, ვინაიდან ინტერნეტის მოქმედება დაფუძნებულია

TCP/IP პროტოკოლებზე, რომლებიც შესაბამისად არის რეალიზებული მომხმარებელთა კომპიუტერებში.

ასეთი მსჯელობა გვადლევს იმის საფუძველს, რომ 10-15 წლის შემდეგ ტრაფიკის 80-90% ექნება პაკეტური ბუნება [17].

ITU-T Q9 „კომუტაციისა და სიგნალიზაციის ტერმინების ლექსიკონში„ კავშირგაბმულობის არხის ქვეშ იგულისხმება ინფორმაციის გადაცემის საშუალება: ცალმხრივი (channel) ან ორმხრივი (circuit), ხოლო არხების კომუტაციის ქვეშ კი იგულისხმება ინფორმაციის გადაცემის საშუალებების კომუტაცია შეერთების დამყარების ფორმირების მიზნით კავშირის ხანგრძლიობის განმავლობაში. ასეთივე შინაარსით მეორდება არხისა და არხების კომუტაციის ტერმინები G.701 „ციფრული გადაცემის, მულტიპლექსირების და იკმ-ის ტერმინების ლექსიკონში„. ამიტომ აღარ არსებობს იმის საფუძველი, რომ არხების კომუტაცია, როგორც კომუტაცია ფიზიკურ დონეზე, განიხილებოდეს ღია ქსელების ურთიერთკავშირის ეტალონური არქიტექტურის მეორე დონედ [18]. ასევე ოპტიკურ ქსელებში, კომუტაცია ფიზიკურ დონეზე შეიძლება ჩაითვალოს არხების კომუტაციის პრინციპად.

საბჭოთა სივრცეში ფართოდ გამოყენებული ტერმინალი „არხების სწრაფი კომუტაცია„ (БКК), ხშირად გავხვდება დასავლეთის ლიტერატურაშიც, როგორც „ინფორმაციის გადატანის დინამიკური სინქრონული ტექნოლოგიის რეჟიმი„ (Dinamic synchronous Transfer Mode, DTM) [20].

კომპრომისის გამონახვის მცდელობაა ATM ტექნოლოგია, არხების კომუტაციის და პაკეტების კომუტაციის მეთოდების გამოყენების თვალსაზრისით, რაც განხორციელდა ATM ტექნოლოგიის დამუშავებით [18]. თუმცა თავისი შინაარსით ATM ტექნოლოგია მიეკუთვნება (ეფუძნება) პაკეტების კომუტაციის პრინციპებზე და ამ მეთოდის კვლევისა და დამუშავების ეტაპზე გამოყენებული იყო ტერმინი „პაკეტების სწრაფი კომუტაცია„ (AT&T Bell Labs, Network Systems, Bellcore, GTE Labs, IBM) [19]. ITU-T I.150 რეკომენდაციებში ATM ახსნილია, როგორც ინფორმაციის გადატანის პაკეტურად ორიენტირებული სპეციფიკური რეჟიმი, რომელშიც გამოყენებულია დროითი განცალკევების ასინქრონული მეთოდი. ამასთანავე, ATM ტექნოლოგია ითვალისწინებს არხის მომსახურების ემულაციას (Circuit Emulation Service, CES) და უზრუნველყოფილია პირველი ტიპის ადაპტაციის დონით (AAL1). ATM ფორუმის ტერმინოლოგიით ის მიეკუთვნება ინფორმაციის გადატანის მუდმივი სიჩქარით მომსახურების კატეგორიას

(CBR) ან ITU-ს ტერმინოლოგიით გადაცემის დეტერმინირებული სიჩქარის კატეგორიას (DBR). CES აგრეთვე ითვალისწინებს რეალური დროის მასშტაბის შესაბამისი ტრაფიკის გადატანას დასაშვები ხარისხის უზრუნველყოფით, ამიტომ იმის მტკიცება, რომ პაკეტების კომუტაციის ყველა ტექნოლოგია ATM-ის ჩათვლით, ცუდად ეგუება „რეალური დროის ტრაფიკს„ [20], არ არის მისაღები, თუმცა ATM-ის ასინქრონული არსი არ იძლევა პაკეტების კომუტაციის ძირითადი უპირატესობის - სტატისტიკური მულტიპლექსირების შესაძლებლობის გამოყენების საშუალებას. მიუხედავად ამისა, ATM ტექნოლოგია ფართოდ გავრცელდა ევროპასა და ამერიკის შეერთებულ შტატებში. ამერიკულმა კომპანია Sprint-მა შეიმუშავა ყველაზე ამბიციური და ფართო მასშტაბიანი პროექტი IDN (Integrated On-demand Network) - ქსელი მოთხოვნის შესაბამისი ინტეგრაციით. ეს პროექტი, რომელიც დაიწყო 1998 წელს, ითვალისწინებდა ბინისა და კორპორაციული მომხმარებლებისათვის ATM ქსელის აგებას მეტყველების, მონაცემების და ვიდეო სიგნალების გადაცემისათვის. მაგრამ, ასეთი ქსელის აგების ხარჯები და სირთულეები აღმოჩნდა გაცილებით დიდი, ხოლო მომხმარებლების რიცხვი გაცილებით მცირე, ეს თეორიულად, საწყისში იყო წარმოდგენილი, შესაბამისად 2001 წელს სამუშაოები შეწყდა, დანაკარგებმა შეადგინა 3 მილიარდი დოლარი და ეს პროექტი ცნობილია, როგორც ერთ-ერთი უძვირესი შეცდომა ტელეკომუნიკაციის ისტორიაში [21].

გასული საუკუნის 90-იან წლებში ATM ტექნოლოგია განიხილებოდა, როგორც ყველაზე პერსპექტიული და დიდი იმედების მომცემი, მაგრამ დღეისათვის შეიძლება ითქვას, რომ ის ვერასოდეს ვეღარ მოიპოვებს იმ განვითარებას, რაც დასაწყის ეტაპზე ჩანდა [22]. ATM-ის განვითარება და გავრცელება შენელდა და მის მიმართ ინტერესებიც შემცირდა. ამას ადასტურებს ION პროექტის წარუმატებლობა.

ინტერნეტის და TCP/IP პროტოკოლების სწრაფმა გავრცელებამ გამოიწვია ATM ტექნოლოგიის დანერგვის პროცესის დამოკიდებულება იმაზე, თუ რამდენად უზრუნველყოფს ის IP ტრაფიკის გატარებას. ამ მიზნებისათვის დამუშავდა MPLS ტექნოლოგია. ამასთანავე გადაწყვეტილი იქნა უფრო მასშტაბური ამოცანა: IP პაკეტების ტრანსპორტირების მექანიზმის უზრუნველყოფა მეორე დონის სხვადასხვა ტექნოლოგიებისა და პროტოკოლების ბაზაზე (არსებულ ზედაპირზე - ATM, Ethernet, Frame Relay, PPP), ანუ „მრავალპროტოკოლიანი ტექნოლოგია - MPLS, რომელიც უზრუნველყოფს არა ნიშნულების კომუტაციას (რომელსაც ლოკალური მნიშვნელობა აქვს), არამედ პაკეტების კომუტაციას. ამიტომ MPLS აბრევიატურის LS ნაწილი უნდა

გვესმოდეს (ან ითარგმნოს), როგორც „კომუტაცია ნიშნულების მიხედვით,“ და არა როგორც „ნიშნულების კომუტაცია,“ [24].

MPLS ტექნოლოგია ითვალისწინებს კავშირის დამყარებას - ნიშნულების მიხედვით კომპიუტირებად ტრაქტებში და განკუთვნილია SDH და WDM დონის ქსელებში IP ტრაფიკის დამუშავებისათვის.

GMPLS ტექნოლოგია. MPLS ტექნოლოგიის გავრცელებამ ოპტიკურ ქსელებზე წარმოქმნა ნიშნულების მიხედვით მრავალპროტოკოლიანი განზოგადოებული ტექნოლოგია (Generalized MultiProtocol Label Switching). ITU მუშაობს ოპტიკური ქსელის ავტომატური კომუტაციის კონცეპციის შემუშავებაზე (ASON - Automated Switched Optical Network) და იყენებს CMPLS-ის ძირითად იდეებს.

GMPLS ტექნოლოგია ითვალისწინებს სხვა და სხვა სახის კომუტაციას. IP/MPLS სააბონენტო მოწყობილობაში პაკეტების კომუტაცია ხორციელდება ნიშნულების მიხედვით. ოპტიკური სატრანსპორტო ქსელის ელემენტებში კი შეიძლება კომპიუტირდებოდეს:

- სხვა და სხვა დონის SDH ტრაქტების წარმოქმნის არხის დროითი ინტერვალები;
- WDM ოპტიკური არხები და მათი ჯგუფები, ანუ სინათლის ნაკადები, რომლებიც გამოიყოფა ტალღის სიგრძის ან დიაპაზონის შესაბამისად (λ კომუტაცია);
- ოპტიკურ ბოჭკოში სინათლის ნაკადის გამოყოფა, ფიზიკურად, სივრცული განაწილების შესაბამისად;

ამრიგად, GMPLS ოპტიკურ ქსელებში ითვალისწინებს არხების ყველა სახის კომუტაციას: დროითს, სიხშირულს, სივრცულს. სიგნალიზაციისათვის გამოყენებულია მართვის ცალკე სიბრტყე, რომელიც ფუნქციონირებს პაკეტების კომუტაციის პრინციპით, ამასთანავე კომუტაციის ნებისმიერი სახეობისათვის გამოყენებულია სიგნალიზაციისა და მარშრუტიზაციის ერთიანი პროტოკოლები.

დღეისათვის ფართოდ არის შესწავლილი თანამედროვე ოპტიკური ტექნოლოგიების უსაზღვრო შესაძლებლობები, რაც ერთის მხრივ ქმნის იმის რეალურ საფუძველს, ვიფიქროთ გამტარუნარიანობის ეკონომიის მიზანშეწონილობაზე [17]. მაგრამ მეორეს მხრივ, საინფორმაციო ტექნოლოგიების განვითარების გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ გარკვეული რესურსები, რომლებიც სრულიად საკმარისად ითვლებოდა არა მარტო უახლოესი მომავლისათვის, ამოიწურა უფრო სწრაფად, ვიდრე ამას ელოდა ნებისმიერი წინასწარმეტყველება. ასე მოხდა ინტერნეტის სამისამართო სივრცის მიმართ,

რომლის დეფიციტი აღმოჩნდა IP 6-ზე გადასვლის მიზეზი. დამახასიათებელი მაგალითია პერსონალური კომპიუტერების ოპერატიულ მეხსიერებაზე მოთხოვნის ზრდა. მაშინ, როდესაც უახლოესი წლების წინ ითვლებოდა, რომ ნებისმიერი ამოცანისათვის 640 კბაიტი მოცულობის მეხსიერება იქნებოდა საკმარისი, დღეს მეხსიერებაზე მოთხოვნა, 3-4-ჯერ გაზრდილია. სხა მაგალითების მოყვანაც გვარწმუნებს, რომ ოპტიკური ქსელების დღეისათვის არსებული დიდი შესაძლებლობები ასევე სწრაფად იქნება ამოწურული.

მითუმეტეს, რომ მიერთების ქსელებში რესურსების ეკონომიის ამოცანები კიდევ დიდხანს იქნება შენარჩუნებული. ამიტომ არის, რომ ბოლო წლებში ასე აქტიურად იწერება xDSL სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ გადაცემის სიჩქარეების გაზრდას არსებულ სპილენძის წყვილებში, ხოლო მიერთების ოპტიკური ტექნოლოგიები კი ვითარდება უპირატესი ეკონომიკური გადაწყვეტების მიმართულებით. ამათგან, ყველაზე პერსპექტიულია პასიური ოპტიკური ქსელები (PON), რომლებშიც გამოყენებულია პაკეტური მეთოდები - ATM და Ethernet.

როდესაც ამბობენ, რომ მომავლის ქსელები იქნება პაკეტური კომუტაციით, მხედველობაში აქვთ IP და მასთან დაკავშირებული პროტოკოლების საფუძველზე მომქმედი ქსელები [23]. ეს ვითარება აუცილებელს ხდის განვიხილოთ განზოგადოებული საკითხი, თუ ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სამყაროში რომელი სტანდარტები დომინირებენ. ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თუ რომელიმე სფეროში კონკურირებენ, ერთი მხრივ სტანდარტები, რომლებიც დამუშავებულია სტანდარტიზაციის ოფიციალური ორგანოების მიერ (ITU, ISO), ხოლო მეორეს მხრივ კი არაფორმალური ორგანიზაციების გადაწყვეტები (მაგალითად IETF), როგორც წესი გავრცელებულია არაფორმალური ორგანიზაციების სტანდარტები.

მართლაც, მონაცემების გადაცემის სისტემებში დომინირებენ TCP/IP პროტოკოლები, და არა BOC პროტოკოლები, რომლებიც მიღებულია ISO და MKKTT მიერ. მულტისერვისული ქსელების პროექტებში ATM იდევნება IP/MPLS-ით. თვით IP ტელეფონიაში SIP-ს აქვს მეტი პერსპექტივა, ვიდრე H.323. ელექტრონულ ფოსტაში იყენებენ ინტერნეტ პროტოკოლებს და არა X.400. ქსელური მართვის სფეროში SNMP და CORBA სარგებლობს მეტი უპირატესობით ვიდრე CMIS/CMIP. ფაილებთან დაშორებული მუშაობისათვის უპირატესად იყენებენ FTP და არა FTAM.

ზემოთჩამოთვლილი მაგალითები აღნიშნული კანონზომიერებებისათვის სარწმუნო მტკიცებულებაა. ცხადია, ეს მნიშვნელოვანი საკითხი საჭიროებს უფრო ღრმა ანალიზს. აქ კი შემოვიფარგლებით იმ დასკვნით, რომ არაფორმალური ორგანიზაციები შეიმუშავენ უფრო სიცოცხლისუნარიან და პრაგმატულ გადაწყვეტილებას, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ კერძო სექტორი, როგორც წესი, სახელმწიფო სექტორზე უფრო ეფექტურია, ისევე როგორც საბაზრო ეკონომიკა უფრო ეფექტურია, ვიდრე ადმინისტრაციულ-გეგმიური.

განვიხილოთ, თუ როგორია მულტისერვისული ქსელებისათვის ინფორმაციის გადაცემისა და კომუტაციის ერთიანი ტექნოლოგიით უზრუნველყოფის საკითხი. აქ პირველ რიგში უნდა ავღნიშნოთ, რომ მულტისერვისული ქსელი ყოველთვის შეიცავს გარკვეულ კომპრომისს მომხმარებლების მიერ წამოყენებულ მოთხოვნებსა და ამ მოთხოვნების მომსახურების აუცილებლად გათვალისწინებას შორის. ამიტომ, სპეციალიზირებული ქსელები, რომლებიც ორიენტირებულია გარკვეულ სერვისებზე, როგორც წესი უზრუნველყოფენ მომსახურების უკეთეს მახასიათებლებს, ვიდრე მულტისერვისული ქსელები.

გარდა ამისა, უნივერსალურობის მომსახურების გადასახადი ყოველთვის უფრო მაღალია, როგორც სირთულეების შედეგი, რაც თვალსაჩინოა ATM-ის მაგალითზე. არ არის გამორიცხული, რომ IP-ქსელები, რომლებიც შექმნილია ხარისხის უზრუნველყოფის გარანტიის გარეშე (best effort) მონაცემების გადაცემის ქსელების ბაზაზე, შეიძლება დროის რეალური მასშტაბის ტრაფიკის გადაცემის მოთხოვნებთან მიახლოების პროცესში იმდენად გართულდეს, რომ დაკარგოს ძირითადი მიმზიდველობა - მომსახურების დაბალი ღირებულება.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია იმ მრავალფეროვანი პირობების ფაქტორი, რომლებიც უნდა იქნას გათვალისწინებული ქსელების განვითარების პროცესში. საქართველოში, რომლის მცირე ტერიტორიაზე გვაქვს წარმოუდგენლად განსხვავებული ბუნებრივი პირობებისა და რეგიონების მკვეთრად განსხვავებული სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების პრობლემების გათვალისწინების აუცილებლობა. განსხვავებული პირობები, მოითხოვს სხვა და სხვა ტექნიკურ გადაწყვეტებს. მაგალითად, სოფლებისა და დაშორებული ფერმერული მეურნეობის კავშირის უზრუნველყოფისას შეიძლება შეგნებულად წავიდეთ მომსახურების ხარისხის გაუარესებაზე დანახარჯების შემცირების მიზნით, ხოლო, მაღალი, საქმიანი აქტიობის ქალაქებში უნდა ვიზრუნოთ

აბონენტების ფართოზოლოვანი ჩართვისათვის, ხარისხისა და საიმედოობის უზრუნველყოფისათვის. აღნიშნული ვითარების გამო შესაძლოა გამართლებული იყოს გადაცემისა და კომუტაციის სრულიად განსხვავებული, არატრადიციული მეთოდების გამოყენებაც კი, მიუხედავად იმისა, რომ განსხვავებული ტექნოლოგიები გამოიწვევს სირთულეებს ქსელების ურთიერთქმედებაში. მაგრამ, ეს პრობლემა პრაქტიკულად ყოველთვის არსებობს სხვა და სხვა მწარმოებლების აპარატურის გამოყენების გამო. აქ აუცილებელია ღია ინტერფეისებიანი სტანდარტიზირებული გადაწყვეტილებების გამოყენება.

გასათვალისწინებელია მსოფლიოში დაგროვილი გამოცდილებაც. თუ ყველა ქსელები ან მათი უდიდესი ნაწილი განვითარდება ერთნაირი სქემით, რომელიც მომავალში აღმოჩნდება ნაკლებად ეფექტური, ან სერიოზული ნაკლოვანებებით, მაშინ სახელმწიფოსათვის და ქვეყნის ეკონომიკისათვის მნიშვნელოვანი ზიანი იქნება გარდაუვალი. ეს არის უმძიმესი რისკი, რომლის შემცირებაც შესაძლებელია მრავალფეროვანი გადაწყვეტილებების გამოყენების საფუძველზე.

სატელეკომუნიკაციო ბაზარზე არსებული კონკურენცია არ იძლევა იმის საშუალებას, რომ გადაწყვეტილება მივიღოთ მხოლოდ ტექნიკური და ეკონომიკური მოსაზრებების საფუძველზე. არანაკლებ მნიშვნელოვანია კონიუნქტურული ხასიათის ფაქტორები. კერძოდ, შესაძლოა, რომ რიგი მწარმოებელი ფირმები პროპაგანდას უწევდნენ განვითარების არასწორ, ჩიხში მომქცევ გადაწყვეტებს, რითაც კონკურენტები წავლენ განვითარების არასწორი გზით [17]. ამ პრობლემის სხვა ასპექტიც არსებობს. მწარმოებლები დაინტერესებული არიან თავიანთი პროდუქციის გასაღებით და ამტკიცებენ კავშირგაბმულობის ახალი საშუალებების დანერგვის აუცილებლობას. ამ მიზნით ისინი ამტკიცებენ, რომ არსებული ტექნიკა და ტექნოლოგია უკვე მოძველებულია და გვიბიძგებენ მათი ახლით შეცვლის აუცილებლობისაკენ. უმეტეს შემთხვევაში ეს უახლესი ტექნიკა არის გამოუცდელი და სწორედ პირველი გამომყენებლები არიან გამოცდილების დაგროვების ობიექტები. ამიტომაც, რომ საქართველოს სატელეფონო ქსელებში ისმის ერთი და იგივე მტკიცებულება, რომ უკვე წავიდა არხების კომუტაციის ეპოქა. ყველა გადადის პაკეტების კომუტაციის ქსელებზე. შეცდომაა ამ დასკვნების მიღება მწარმოებლების მხრიდან.

მეორეს მხრივ, ოპერატორი-კომპანიები თავიანთ გადაწყვეტილებებში ყოველთვის არ გამოდიან ტექნიკური და ეკონომიკური მიზანშეწონილობებიდან. ხშირია „მოდის

აყოლა,, დაუსაბუთებლად და ნაადრევად, მხოლოდ იმიტომ, რომ არ ჩამორჩნენ კონკურენტებს, ხდება ტექნიკური გადაიარაღება. გარკვეული მოსაზრებებით მოვიყვან არა კონკრეტულ მაგალითს, მაგრამ ჩვენი ქვეყნისათვისაც ძალზე სასარგებლო ინფორმაციას. ავიღოთ მესამე თაობის (3G) მობილური კავშირის სისტემასთან დაკავშირებული ვითარება. EURESCOM-ის (კავშირგაბმულობის სტრატეგიის შესწავლის ევროპის კვლევითი ინსტიტუტი) ანალიზის საფუძველზე [23], შეიძლება ითქვას, რომ კომპანიების უმეტესობამ წინასწარ იცოდა, რომ 3G-ის ლიცენზიის მიღების ხარჯები (ევროპაში), არ იქნებოდა ამოგებული, მაგრამ მეორეს მხრივ არ შეიძლებოდა კონკურენტებს ჩამორჩენოდა თავიანთი ტექნიკური პროგრესის რეკლამირებაში. [23] აღნიშნულია, რომ შედეგები მართლაც სავალალო აღმოჩნდა.

დღეს საქართველოს სატელეკომუნიკაციო ბაზარზე არსებულ ვითარებაში ტექნოლოგიების შერჩევას უნდა ეწეოდეს საქართველოს თავისებურებებისა და განვითარების პერსპექტივების გათვალისწინებით, ინფორმაციის გადაცემისა და კომუტაციის ტექნიკისა და ტექნოლოგიის ოპტიმალური დამუშავების მუშა ჯგუფი, რომლის შემადგენლობაშიც გაერთიანებული იქნებიან საპროექტო სასწავლო ინსტიტუტების და საექსპლუატაციო ორგანიზაციების პროფესიონალი სპეციალისტები, რაც არ გამორიცხავს ცალკეული ოპერატორების მიერ დაკვეთილი სისტემური პროექტების განხორციელებას. მუშა ჯგუფის შექმნის მიზანია დარგისათვის უნივერსალური გადაწყვეტების მიღწევის უზრუნველყოფა. მითუმეტეს, რომ ზოგადი მიდგომებიც მოითხოვს კონკრეტულ ამოცანაზე მიზმასა და განდეტალებას. საქართველოში გავრცელებულია საკოორდინაციო საბჭოების შექმნის პრაქტიკა, მაგრამ მისი მუშაობის გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ ამ საბჭოების მუშაობის მიზანს ყოველთვის წარმოადგენს კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტის გზებზე შეთანხმება, მაგრამ ზოგადი მიზნების გადაწყვეტისათვის ასეთი საბჭოები უუნარონი არიან და არ შეუძლიათ მკაფიო პასუხის ჩამოყალიბება, ვინაიდან საკოორდინაციო საბჭოები დატვირთულია მომზადებული ანგარიშების და ექსპერტთა დასკვნების განხილვით, და არასოდეს დასმულა ზოგადი შინაარსის ამოცანის აუცილებლობის საკითხი: საქართველოს კავშირგაბმულობის ქსელებში საცდელი ზონების (ინკუბატორების) ორგანიზაციის შესახებ.

დასკვნა

1. ტექნოლოგიების შერჩევის დროს გასათვალისწინებელია, რომ ყველა მათგანს აქვს თავისი უპირატესობა და ნაკლოვანებები. ამიტომ არ არის სწორი იმის გამოკვლევა თუ რომელი მათგანის ჯობია, არამედ საჭიროა რაციონალური გადაწყვეტების დროს, რომელი ტექნოლოგიის შესაძლებლობები უფრო ეფექტურად შეესატყვისება გამოყენებით მხარეს.
2. ტექნოლოგიის შერჩევა არ განისაზღვრება მხოლოდ ობიექტური ფაქტორებით, როგორებიცაა ტექნიკური და ეკონომიკური ფაქტორები, არამედ კონიუნქტურული მოსაზრებებითაც. ამასთანავე ამ მოსაზრებების როლი ბაზრის ლიბერალიზაციასთან ერთად იზრდება.
3. ინტერნეტის განვითარება და მასთან დაკავშირებული სტანდარტებისა და პროტოკოლების ფართოდ გამოყენების აუცილებლობა უპირატესობას აძლევს პაკეტური ტექნოლოგიების ფართოდ დანერგვას, მითუმეტეს, რომ პაკეტური ტექნოლოგიები თავისი მოქნილობის საფუძველზე მომხმარებლებისათვის განსაკუთრებულად ხელსაყრელ პირობებს ქმნის.
4. შემდეგი თაობის ოპტიკური ქსელების აგებისათვის ერთ-ერთი ყველაზე პერსპექტიული ტექნოლოგიაა GMPLS, რომელიც დღეს წარმოადგენს სხვა და სხვა სახის კომუტაციების შეჯერების საშუალებას.
5. მულტისერვისული ქსელების უპირატესად განვითარების ტენდენციები არ გამორიცხავს კომუტაციის სხვა და სხვა მეთოდების საფუძველზე სპეციალიზირებული ქსელების შექმნის დასაბუთების და აგების შესაძლებლობას.

მომსახურების ხარისხის მაჩვენებლები

მიუხედავად იმისა, რომ კლასიკურ ტელეფონიას აქვს საკმაოდ ხანგრძლივი ისტორია, მომსახურების ხარისხისა და მისი ნორმირების საკითხები გადაწყვეტილია შედარებით დაბალ დონეზე. სატელეფონო კავშირით მომსახურების ხარისხის მაჩვენებლები იყოფა ორ ჯგუფად:

- გამოძახებების მომსახურების ხარისხი;

– გადაცემის ხარისი.

მომსახურების ხარისხის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს უდიდესი დატვირთვის საათში არსებული კარგების (უარების) რაოდენობა. ხორციელდება ზღვრულად დასაშვები კარგების მნიშვნელობის ნორმირება, რაც გამოწვეულია საკომუტაციო კვანძებში არხებისა და საჭირო რესურსების შეზღუდული რაოდენობის არსებობის გამო: ქალაქის საზღვრებში კავშირისათვის - 3% და საქალაქთაშორისო კავშირისათვის - 10%; სააბონენტო ხაზის დაკავებულობის გამო არ შემდგარი საუბრების როლი - 20-30%, გამოძახებული აბონენტის მხრიდან არ პასუხის გამო № 12-15% და ელექტრონულ სისტემებში დაკავების საშუალო ხანგრძლიობა 2 წმ-ზე ნაკლებია.

სატელეფონო ქსელის მომსახურების ხარისხის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია - საიმედოობა. მომსახურების საიმედოობის ცნებას აქვს სამი მდგენელი: მომსახურების მიღების შესაძლებლობა; კავშირის შენარჩუნება, დაცულობა და კავშირის უწყვეტობა. საიმედოობის შემადგენლობაში შედის ტრაფიკის მომსახურების შესაძლებლობა, მომსახურების შესაძლებლობის უზრუნველყოფა (გარანტია) და სიგნალების გავრცელების მახასიათებლები.

მომსახურების მიღების შესაძლებლობა ითვალისწინებს, როგორც ტექნიკური სისტემების მტყუნებას, ასევე ქსელის გადატვირთვას და იზომება კავშირის დამყარებაზე უარის საშუალო ალბათობით. უარის ალბათობა განისაზღვრება:

$$P = Q_n / N,$$

სადაც Q_n არის კავშირის დამყარების წარმატებული მცდელობების რიცხვი, ხოლო N - გარკვეული დროის შუალედის განმავლობაში კავშირის დამყარების მცდელობათა საერთო რიცხვი. მომსახურების მიღების შესაძლებლობის ნორმირება ექვემდებარება დაზუსტებას ზღვრებიდან 10-20%.

კავშირის შენარჩუნება (დაცულობა), არის საჭირო დროის პერიოდში მომსახურების პროცესის არსებობა (ITU E.800 რეკომენდაცია). ის ხასიათდება კავშირის ნაადრევი შეწყვეტის უქონლობით, ანუ 10 წამზე მეტი დროით კავშირის შეწყვეტის შესაძლებლობით, მაშინ როდესაც არსებობს 10 წამზე ნაკლები ხანგრძლიობის წყვეტების მიმდევრობა და როდესაც წყვეტების საშუალო ხანგრძლიობის შეფარდება მათი წარმოქმნის სიხშირესთან აჭარბებს 0,005 სიდიდეს.

კავშირის უწყვეტობა ხასიათდება 10 წამზე ნაკლები დროის ხანგრძლიობით სიგნალის გაქრობის ალბათობით. აქ განიხილება სიგნალის გაქრობა გადაცემის დონის შემცირების, ხელშეშლების დონის გაზრდის, ცდომილებათა კოეფიციენტის ან ყველა ჩამოთვლილი მიზეზების ერთობლივი მოქმედების გამო.

სიგნალის შეწყვეტის ალბათობის მაჩვენებელი განისაზღვრება, როგორც წყვეტათა ჯამური ხანგრძლიობების შეფარდება დაკვირვების დროის ხანგრძლიობასთან:

$$P = \sum_{i=1}^N T_i / T,$$

სადაც T_i - სიგნალის N წყვეტებიდან i -ური წყვეტის ხანგრძლიობაა;

P - ექვემდებარება განსაზღვრას, მაგრამ მიღებულია, რომ მისი მნიშვნელობა $<0,5\%$.

დამყარებული კავშირის შენარჩუნების რაოდენობრივ საზომს წარმოადგენს კავშირის შენარჩუნების კოეფიციენტი, რომელიც შემდეგი ალბათობით განისაზღვრება:

$$P_R = (1 - R/N) / T,$$

სადაც R - არის საერთო N რაოდენობიდან მყარი შეერთებით დასრულებული კავშირების რიცხვი.

ნორმები:

საზოგადოდ ტიპური შეერთებისათვის: $- 2 \cdot 10^{-4} < P_R < 4 \cdot 10^{-4}$;

შეერთების 90%-ის $- 4 \cdot 10^{-4} < P_R < 8 \cdot 10^{-4}$;

უკიდურეს შემთხვევაში, დასაცავია ნორმები: $- 8 \cdot 10^{-4} < 1,6 \cdot 10^{-3}$;

IP - ტელეფონია, რომელიც უზრუნველყოფს მომსახურების მაღალ ხარისხს, კლასიკური ტელეფონიის პრინციპებისაგან პაკეტები კომუტაციის გამოყენების საფუძველზე, ეს კი, როგორც ცნობილია, დაკავშირებულია პაკეტების კარგვებთან, ცვლადი მნიშვნელობების დაყოვნებებთან, რეგენერატორებში გადაკოდირებების, უკუგარდაქმნების და კომპრესიების მოვლენებთან (ჯიტერი). ამიტომ IP - ტელეფონიის მომსახურების ხარისხობრივი მაჩვენებლების დადგენისა და ნორმირების პროცესი ამჟამად დამუშავების სტადიაშია, ITU-ს რეკომენდაციებში არსებული ნორმები მოცემულია ცხრილში:

მომსახურების კლასის შესაბამისი მაჩვენებლების

მნიშვნელობების ცხრილი [25]

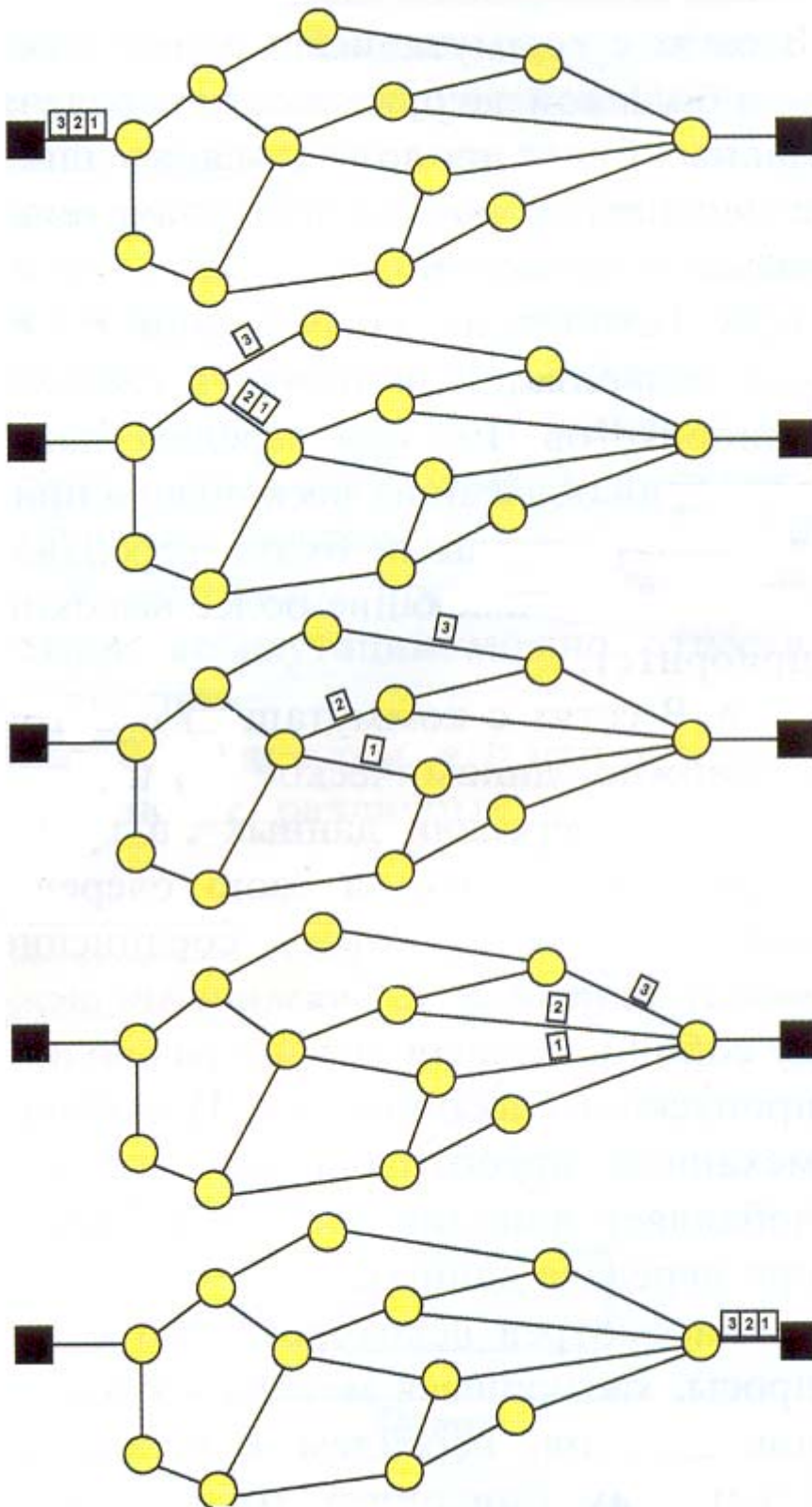
მახასიათებლები	კლასი			
	უმაღლესი	მაღალი	საშუალო	დასაშვები
კავშირის დამყარების პროცესთან დაკავშირებული დაყოვნებები, წმ.	0-1	1-3	3-5	5-20
პაკეტის გადაცემის დაყოვნება, მწმ.	0-100	0-100	100-150	150-400
პაკეტის გადაცემის ვარიაციები, არაუმეტეს - მწმ.	10	20	40	არ არის ნორმირებული
პაკეტების კარგვის კოეფიციენტი, არაუმეტეს %.	0,5	1	2	არ არის ნორმირებული

პაკეტური კომუტაციის ძირითადი პრინციპები

პაკეტების კომუტაციის ტექნოლოგია შეიძლება გამოყენებული იქნას მონაცემთა გადაცემის ნებისმიერი დანიშნულებისა და მიზნების ქსელების აგებისათვის. უკვე აღარ არსებობს სპეციალისტების სერიოზული შეშფოთება, რომ ქსელის მასშტაბების ზრდის პროცესში პაკეტების კომუტაციის ტექნოლოგია გახდება შეუძლებელი, ქსელის უამრავი კვანძებისა და დიდი რიგების გამო. პირველ რიგში აღსანიშნავია პაკეტების კომუტაციის დეიტაგრამული რეჟიმი, რომელიც ფართოდ იწერება კორპორატიულ ქსელებში, როგორც ქსელის გამტარუნარიანობის ამაღლების ეფექტური მეთოდი.

პაკეტების კომუტაციის დეიტაგრამული რეჟიმის შემთხვევაში, ცალკეული პაკეტები გადაიცემა, ნებისმიერი სხვა პაკეტების არსებობის გაუთვალისწინებლად, ანუ პაკეტები გადაიცემა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, გადაიცემა ცალკეული პაკეტების გადაცემის შემდეგ ან მანამდე. ე.ი. ნებისმიერი დროის ინტერვალი არის გამოყენებული ეფექტურად. პაკეტის გადაცემის დროს ქსელის ყოველი კვანძი, პაკეტის სათაურისა და ქსელის საკუთარი კვანძების მდგომარეობათა შესახებ ინფორმაციის საფუძველზე, ირჩევს მომდევნო კვანძს, სადაც უნდა გადაიგზავნოს პაკეტი. ამასთანავე, პაკეტები, რომლებსაც აქვთ ერთი და იგივე საბოლოო მისამართი, ქსელში იგზავნებიან

სხვა და სხვა გზებით. ამრიგად, კომუტაციის დეიტაგრამული რეჟიმის დროს ქსელს გააჩნია პაკეტების ამოცნობისა და დალაგების უნარი (ნახ.4).



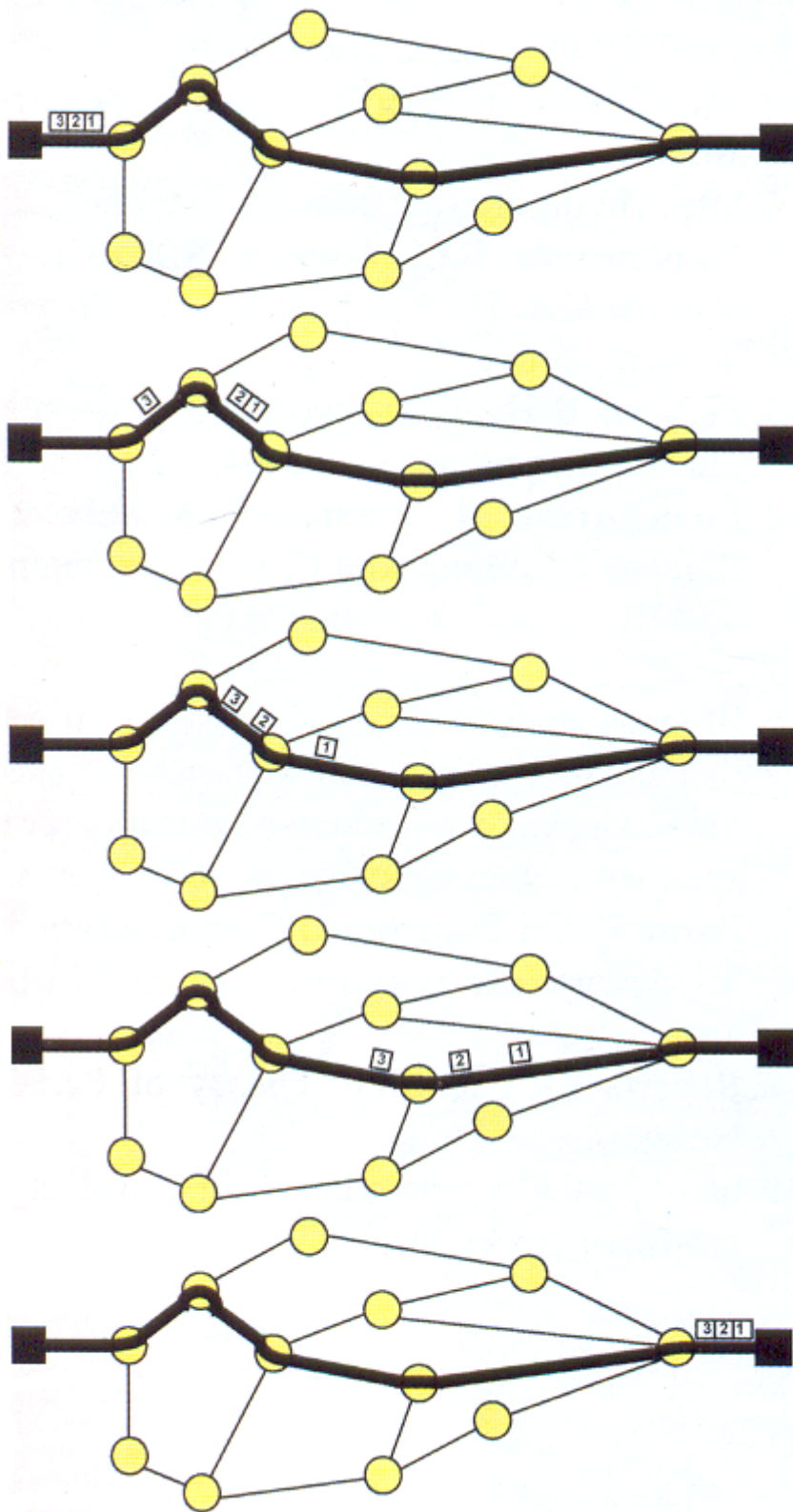
ნახ.4. პაკეტების გადაცემა დეიტაგრამული რეჟიმით

დეიტაგრამული რეჟიმის ძირითადი უპირატესობები მდგომარეობს შემდეგში. პირველ რიგში, ის რომ რეჟიმს არ გააჩნია ვირტუალური არხის ორგანიზების ფაზა. მეორე - დეიტაგრამული ქსელები ექსპლუატაციის თვალსაზრისით გაცილებით მოქნილია, რაც განპირობებულია კომუტაციის ამ რეჟიმის სიმარტივით. მესამე - შესაძლო საკამათოც იყოს, მაგრამ დეიტაგრამული რეჟიმით გადაცემა უფრო საიმედოა, ვინაიდან ვირტუალური არხების ქსელებში კვანძის დაზიანება იწვევს „შეერთების,, დაშლას ამ კვანძზე გამავალი ყველა არხისათვის და ჩნდება ახალი ვირტუალური არხის განსაზღვრისა და შექმნის აუცილებლობა.

კომუტაციის დეიტაგრამული რეჟიმის ზემოთჩამოთვლილი ღირებების და კერძოდ, პაკეტების გადაცემის მექანიზმის სიმარტივის გამო ის დაედო საფუძვლად უნივერსიტეტებისა და სამეცნიერო-კვლევითი სფეროების კორპორატიული ქსელების აგებას. ფართოდაა გავრცელებული აგრეთვე ქსელი ARPANET, რომელშიც გამოყენებულია „შეტყობინების ინტერფეისული პროცესორი,, როგორც შეტყობინების კომუტატორი - IMP (Interface Message Processor). IMP, დინამიურად შევსებადი მარშრუტიზაციის ცხრილის შესაბამისად, პაკეტებს აგზავნის შესაძლო უსწრაფესი გზით.

სადისერტაციო ნაშრომის მეორე თავში შესწავლილია კომუტაციის დეიტაგრამული რეჟიმისათვის ქსელის კვანძებში მოთხოვნათა რიგის კონტროლის მეთოდი, კერძოდ, ქსელში არსებული ტრაფიკის პაკეტები კომუტაციის ყოველ წენტელში იკავებენ ბუფერის კვანძებს და მათი მომსახურება ხდება მაღალი პრიორიტეტით შემომავალი ნაკადის მოთხოვნებთან შედარებით.

პაკეტური კომუტაციის მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში, პაკეტების გადაცემამდე, იქმნება პაკეტების სვლის გარკვეული მარშრუტი ლოგიკური შეერთების დამყარების მიზნით. ასეთ ფიქსირებულ მარშრუტს ეწოდება ვირტუალური არხი (ნახ.5). პაკეტების მომსახურების ველში აღინიშნება ვირტუალური არხის იდენტიფიკატორი.



ნახ.5. პაკეტების გადაცემა ვირტუალური არხის ფორმირების მეთოდით

ვირტუალური არხი არის ტრადიციული ქსელის კომპიტირებადი არხის ანალოგი. მაგრამ, მიუხედავად „გარეგნული„ მსგავსებისა, კომპუტაციის ამ ტექნოლოგიებს აქვთ ღრმა შინაარსობრივი განსხვავება - ქსელის რომელიმე სეგმენტში გადატვირთვების

დროს პაკეტები ინახება ბუფერებში. ხოლო კომუტაციის დეიტაგრამული რეჟიმისაგან განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ ვირტუალური არხებით კომუტაციის შემთხვევაში ქსელის კვანძები არ ღებულობენ მონაწილეობას პაკეტების მარშრუტიზაციის პროცესში. ეს გადაწყვეტილება ყალიბდება მხოლოდ ერთხელ - ვირტუალური არხის ფორმირების დროს.

სადისერტაციო ნაშრომის მეორე თავში განხილულია ორი ფაზით მომსახურე სისტემის მათემატიკური მოდელი, როდესაც მომსახურე არხი წარმოადგენს ორ მიმდევრობით ჩართულ მომსახურების კვანძს, რაც შეესაბამება ვირტუალური არხის შექმნის მოდელს.

ვირტუალური არხების მეთოდით პაკეტების კომუტაციის მეთოდის მათემატიკური მოდელი შეესაბამება შეტყობინებათა კომუტაციის ტექნოლოგიის გამოყენებას, დროში განცალკევების მეთოდით. ეს მეთოდი, არხების კომუტაციის მეთოდისაგან განსხვავებით, არის გამტარუნარიანობის მართვის დინამიური მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს ქსელის რესურსების გამოყენების მაღალ ხარისხს.

დისერტაციის მეორე თავში განხილულია სისტემის ისეთი მათემატიკური მოდელი, რომელშიც შემოსული ნაკადის ინტენსიობა და მომსახურების ინტენსიობა დამოკიდებულია პაკეტების რიგის გარკვეულ დონეზე, უარების დასაშვებ რაოდენობაზე და სისტემის უკუქმედებაზე (მეხსიერებაზე).

ტელეტრაფიკის ძირითადი პრობლემები

მესამე ათასწლეულის დასაწყისი დაემთხვა უმნიშვნელოვანეს მოვლენებს, რომლებიც საფუძველში ცვლიან ჩვენს ტრადიციულ შეხედულებებს ტელეტრაფიკის თეორიაზე. 2002 წელს მსოფლიოში მობილური ტელეფონების რაოდენობამ მიაღწია 1,2 მილიარდს და გადააჭარბა ფიქსირებულ ქსელებში ჩართული ტელეფონების რაოდენობას [26]. (გამოთქმა „ფიქსირებულ ქსელებში„ გამოყენებულია [26] მიხედვით). ამასთანავე ერთად, მონაცემთა გადაცემის დატვირთვამ, რომელსაც ქმნის ინტერნეტი და საერთო სარგებლობის სხვა ქსელები, აგრეთვე გადააჭარბა სატელეფონო დატვირთვის მოცულობას და განუხრელად გრძელდება მონაცემთა გადაცემის დატვირთვის სწრაფი ზრდა. მოსალოდნელია, რომ უკვე 2005 წლისათვის ეს დატვირთვა, მსოფლიო მასშტაბით

მიაღწევს კავშირგაბმულობის ქსელებში არსებული საერთო დატვირთვის 90%. ჩვენს მიერ აღნიშნული ამ ორი მოვლენის ურთიერთკავშირი ძირითადად ვლინდება მათ იმ განსხვავებაში, რომ მეტყველების სიგნალის ციფრული გადაცემის პრინციპი ფიქსირებული და მობილური ტელეფონების ქსელებში სრულიად განსხვავებულია.

მეტყველების სიგნალის ციფრული გადაცემის ტრადიციული მეთოდი ფიქსირებული ტელეფონების ქსელში ხორციელდება იმპულსურ-კოდური მოდულაციის საფუძველზე 64 კბიტ/წ სიჩქარით. მიუხედავად იმისა, რომ ცნობილია გადაცემის სიჩქარის მნიშვნელოვნად შემცირების მეთოდები, სადენებიანი კავშირგაბმულობის ქსელებში ამ მეთოდებმა ფართო გამოყენება ვერ მოიპოვა. ამის მიზეზი არის ის, რომ კავშირის სადენებიანი არხები წარმოადგენს განახლებად რესურსს და მისი ღირებულება, მეტყველების სიგნალის დაბალსიჩქარული გადაცემის რთული სისტემის რეალიზების ღირებულებაზე დაბალია. მობილური კავშირგაბმულობის ქსელებში კი, რადიოსიხშირული ზოლი არის არაგანახლებადი რესურსი, რაც ამართლებს მიმღებ-გადამცემი მოწყობილობის მნიშვნელოვან გართულებას. ცნობილია, რომ მეორე თაობის მობილური ტელეფონები შეიცავენ წამში 10 მილიონი ოპერაციის სიჩქარით მომქმედ მიკროკომპიუტერს. მესამე თაობის აპარატებში განთავსებულია უფრო მძლავრი მიკროკომპიუტერები. ეს ფაქტი არის იმ კანონზომიერების ანარეკლი, რომელიც დამახასიათებელი იყო კლოდ შენონის ეპოქისათვის, რომელმაც, ჯერ კიდევ 1948 წელს იწინასწარმეტყველა ინფორმაციის გადაცემის შესაძლებლობა მაღალი სარწმუნოებით ხელშემშლელის ნებისმიერი დონისათვის, თუ შეტყობინების წყაროს ენტროპია კავშირის არხის გამტარუნარიანობაზე ნაკლები იქნება. მეოცე საუკუნის მეორე ნახევრის კვლევებმა დაადასტურა, რომ რაც უფრო მეტად მიუახლოვდებით კ.შენონის ნაწინასწარმეტყველების შესაძლო რეალიზაციას, მით უფრო რთული გამოთვლების ჩატარებაა გასათვალისწინებელი მიმღებ-გადამცემ მოწყობილობებში. ამის ნათელი დადასტურებაა სატელეფონო კავშირის პრინციპები სადენებიან და უსადენო ქსელებში. ასევე, ამ ფაქტის დადასტურებაა ციფრული ქსელების მართვის მრავალდონიანი არქიტექტურა.

მაგრამ, ფიქური სატელეფონო ქსელები, არ განიხილება, როგორც კავშირგაბმულობის დამოუკიდებელი ქსელები, ის წარმოადგენს ფიქსირებული ქსელების მომსახურებასთან უსადენო მიერთების საშუალებას. ამიტომ, ფიქური ქსელების მეტყველების სიგნალები უნდა შეთანხმდეს ფიქსირებულ სატელეფონო

ქსელებში გადაცემულ სიგნალებთან. ეს კი მოითხოვს ყოველ შემაერთებელ ხაზში შესაბამისი მიკროკომპიუტერის ჩართვას. ასეთი მსჯელობის განვითარებას მივყავართ ინტერნეტ ტელეფონის იდეასთან. დღეისათვის ინტერნეტი მართლაც არის შედარებით მარტივი ქსელი, უნივერსალური ინფრასტრუქტურით. საერთო სარგებლობის არსებული ქსელები არხების კომუტაციით დღეისათვის არის ყველაზე ფართოდ გავრცელებული და შექმნილია წინა თაობების უდიდესი ძალისხმევის შედეგად. მიუხედავად ამისა აღსანიშნავია, რომ ბოლო ორ ტელეტრაფიკის საერთაშორისო კონგრესებზე 2001 და 2003 წელს ძირითადი ყურადღება დაეთმო ინტერნეტის ტელეტრაფიკის პრობლემებს. კერძოდ, 2001 წლის კონგრესი ჩატარდა დევიზით „ტელეტრაფიკი ინტერნეტის ქსელის ეპოქაში„ [27], ხოლო 2003 წლის კონგრესის დევიზი იყო „მომსახურების ხარისხის უზრუნველყოფა არაერთგვაროვან გარემოში„ [28].

ციფრული ქსელების ტელეტრაფიკის მნიშვნელოვანი თავისებურებაა გადაცემული შეტყობინების მრავალდონიანი დამუშავება, რის გამოც, ასეთ ქსელებში მომსახურების ხარისხი დამოკიდებული ხდება დამუშავების დონეების რაოდენობაზე. მაგალითად, ნებისმიერი მომხმარებლის მომსახურება ხორციელდება მრავალდონიანი არქიტექტურის შემცველი სატრანსპორტო დონით და ამ მომსახურების ხარისხი დამოკიდებულია თუ რა ხარისხით მოხდება სატრანსპორტო დონის მომსახურება ქვედა დონეებზე, კერძოდ: ქსელის დონეზე, არხის დონეზე, ფიზიკურ დონეზე. ამ ვითარებიდან გამომდინარე, პაკეტური კომუტაციის პრინციპით მოქმედ ინტერნეტის ქსელში მომსახურების ხარისხის მაღალი დონით უზრუნველყოფა შესაძლებელია თუ ყველა დონეზე შეთანხმებულად არის გადაწყვეტილი ტელეტრაფიკის ამოცანები. მართლაც, IP ტელეფონისათვის, რომელიც მოქმედებს ქსელის დონეზე, დამუშავდა პროტოკოლების ნიშნულების კომუტაცია (MPLS - Multi Protocol Label Switching), ქსელის ნებისმიერი კვანძის წყვილებს შორის ვირტუალური შემაერთებელი გზების დამყარებისათვის. ეს იძლევა მაგისტრალური ქსელის მარშრუტიზატორების განთავისუფლების შესაძლებლობას ყველა პაკეტის დამუშავებისაგან, აგზავნის რა ამ პაკეტებს შესაბამისი გზით. ეს იდეა განსაკუთრებული წარმატებებით ვითრდება ოპტიკურ-ბოჭკოვან მაგისტრალურ ქსელებში.

ამ მიმართებაში აღსანიშნავია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ქსელების ორი თაობა, ანუ განვითარების ორი ეტაპი. პირველი ეტაპით გადაწყდა ტრადიციული სპილენძის ძარღვიანი კავშირის ხაზების შეცვლა ოპტიკურით. შეცვლის აუცილებლობა

დაკავშირებულია, როგორც სპილენძის დეფიციტთან, ასევე გატარების სიხშირული ზოლის და სიგნალების დამუშავების სიჩქარეების შეზღუდულობასთან. ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ქსელების ამ თაობისათვის დამახასიათებელია ერთ ძარღვში, მხოლოდ გადაცემის ერთი არხის გამოყენება. თანამედროვე ტექნოლოგიები, ოპტიკური კაბელის გამჭვირვალობის სარკმელში იძლევა ასეულობით გადაცემის ტრაქტების უზრუნველყოფის საშუალებას, ნანომეტრამდე განსხვავებული ტალღის სიგრძის გასხივების საფუძველზე. შესაბამისად, პროტოკოლის ნიშნულების კომუტაციის იდეა წარმატებით არის გამოყენებული ოპტიკურ კომუტატორებში პროტოკოლების ნიშნულების განზოგადოებული პრინციპის (GMPLS - Generalized Multi-Protocol Label Switching), ან λ - კომუტაციის (MP λ S - Multi-Protocol Lambda Switching) სახელწოდებით. მართვის ასეთი სისტემის იდეა ძალზე მნიშვნელოვანია ოპტიკური ქსელების განვითარებისათვის და ამასთანავე გააჩნია რიგი უპირატესობები. კერძოდ, ამარტივებს მართვის პროცესს, ახდენს რისკის ფაქტორის მინიმიზირებას, კავშირგაბმულობის მომსახურების ბაზარზე აჩქარებს ახალი ტექნიკის დანერგვის პროცესს.

ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ქსელების განვითარება მიმდინარეობს რამოდენიმე მნიშვნელოვანი მიმართულებით, მათ შორის განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ოპტიკურ ელემენტური ბაზის განვითარების სფეროს, რაც იმის გარანტიაა, რომ უახლოეს მომავალში კავშირგაბმულობის ტექნიკა ფართოდ გამოიყენებს წმინდა ოპტიკური კომუტაციის პრინციპებს. ამ მიზეზით უკვე წარმოჩინდა არაგამჭვირვალე და გამჭვირვალე კომუტაციების ცნება. არაგამჭვირვალე კომუტაცია გულისხმობს, რომ ოპტიკური ტრაქტის გარკვეული ტალღის სიგრძის სიგნალი გარდაისახება ელექტრულ ფორმაში, ხდება ელექტრონულ ხაზზე მისი კომუტაცია და შემდგომი გავრცელებისათვის გარდაისახება კვლავ ოპტიკურში. გამჭვირვალე კომუტაციის შემთხვევაში, კი ოპტიკური სიგნალის კომუტაცია ხორციელდება უშუალოდ და ამასთანავე ოპტიკური კომუტაციის დროს შეიძლება ერთდროულად განხორციელდეს ოპტიკური ტრაქტების დიდი ჯგუფის კომუტაცია.

განვითარების მეორე უმნიშვნელოვანესი მიმართულება დაკავშირებულია ოპტიკური გადაცემის ტექნიკის ისეთ შემდგომ პროგრესთან, როდესაც, რეგენერატორების გარეშე იქმნება 1000 კმ-დე სიგრძის კავშირის ხაზები. დღეისათვის ITU მუშაობს ავტომატურად კომუტირებადი ოპტიკური ქსელების სტანდარტიზაციაზე (G.8080 რეკომენდაციები), რომელიც შეიცავს პროტოკოლის ნიშნულების

განზოგადოებული კომუტაციის - GMPLS პრინციპს და მომხმარებლის ინტერფეისს, რომლის დამუშავებაზე ზრუნავს ოპტიკური ქსელების ფორუმი - OIF (Optical Internetworking Forum).

ტელეტრაფიკის მე-18 საერთაშორისო კონგრესზე (2003 წლის 31 აგვისტო - 5 სექტემბერი, ბერლინი), მნიშვნელოვანი ყურადღება დაეთმო ტალღის სიგრძის მიხედვით განცალკევების ამოცანებს, რომლებსაც მიეკუთვნება მარშრუტიზაცია და ტალღის სიგრძეთა დანიშნულება [29]. არხების კომუტაციის ტრადიციულ სისტემებში მარშრუტიზაციის ამოცანებისაგან განსხვავებით, მარშრუტიზაცია ტალღის სიგრძეთა დანიშნულებით პოულობს გზას და მის ყველა უბანზე აწესებს ერთი და იგივე ტალღის სიგრძეს, შესაბამისი სიგნალის გატარების მიზნით. შემაერთებელი გზის მთელ სიგრძეზე მუდმივი ტალღის სიგრძის გამოყენების მოთხოვნას უწოდებენ უწყვეტობის შეზღუდვას (ограничение непрерывности), რაც იმას ნიშნავს, რომ შეუძლებელია კავშირის დამყარება, მიუხედავად იმისა, რომ კავშირის გზის ყველა უბანზე არსებობს თავისუფალი ტალღის სიგრძეები. ამ ვითარებაში, უმოკლესი გზის ტრადიციული ალგორითმები შეიძლება არ აღმოჩნდეს დამაკმაყოფილებელი.

ამ ამოცანის ამოსახსნელად გვესახება ორი მიდგომა. პირველი მიდგომა უნდა ითვალისწინებდეს მარშრუტიზაციისა და ტალღის სიგრძეების დადგენის პროცესს, როგორც ერთიან ამოცანას, რომელიც აღიწერება შერეული მთელრიცხვიანი წრფივი პროგრამირების საფუძველზე. ამ შემთხვევაში ამოცანის გართულების ხარჯზე ხორციელდება ზუსტი ოპტიმალური ამოხსნის მცდელობა. მეორე მიდგომის შემთხვევაში, ცალკე იხილება მარშრუტიზაციის დადგენის ამოცანა და ტალღის სიგრძეების მინიშნების ამოცანა. ამონახსნი შეიძლება აღმოჩნდეს სუბოპტიმალური, მაგრამ პრაქტიკულად მისაღები. მარშრუტიზაციისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას ფიქსირებული მარშრუტიზაციის ალგორითმი, რომელიც არ არის დაკავშირებული დროის რეალურ მასშტაბთან და გამოითვლება ცალკეული წყვილებისათვის როგორც ერთი რომელიმე შესაძლო გზა ან შესაძლო ალტერნატიული გზები. შესაძლოა ადაპტური მარშრუტიზაციის გამოყენება, რომელიც ფუნქციონირებს დროის რეალურ მასშტაბში და გზებს ირჩევს ქსელში დატვირთვის განაწილების შესაბამისად.

ტალღის სიგრძის მინიშნების ამოცანებში შეიძლება გამოყენებული იქნას ტალღის სიგრძის შემთხვევითად მინიშნების ალგორითმი, როდესაც კონკრეტული ტალღის სიგრძე შემთხვევითად აირჩევა, ან მინიშნება თანმიმდევრული წესით, როდესაც ტალღის

სიგრძეები არის დანომრილი და ხდება უმცირესი ნომრის, თავისუფალი ტალღის სიგრძის არჩევა („მოწესებული ძეგნა“). შესაძლოა ტალღის სიგრძის მინიშნება, მოცემულ შემთხვევაში, ყველაზე ხელსაყრელი ტალღის მიხედვით, მაგრამ ასეთი მიდგომა დაკავშირებულია, კავშირის ყველა უბანზე შესაბამისი მინიშნების სირთულესთან. ტალღის სიგრძეებით განცალკევების სისტემების ორგანიზებისათვის კავშირგაბმულობის ქსელების კვანძებში იყენებენ ოპტიკურ გადამცემებს და მიმღებებს, რომელთა ტიპები და რაოდენობები დამოკიდებულია კონკრეტული ამოცანის პირობებზე. ოპტიკური მიმღებ-გადამცემები შეიძლება იყოს აწყობილი ფიქსირებულ კონკრეტულ ტალღაზე, შეიძლება ოპტიკური სპექტრის სიხშირეებზე გადაწყობილი, მიმღებ-გადამცემების გამოყენებაც, რომლებიც ერთის მხრივ ძვირია, ხოლო მეორეს მხრივ კი სიხშირეზე გადაწყობას საგრძნობად დიდი დრო ესაჭიროება.

აქტუალურია პროტოკოლის ნიშნულების კომპუტირებადი ტრაქტების (გვირაბი) განაწილების ამოცანები. ყოველი ასეთი გვირები, ან λ - ტრაქტი, რიგი მონაკვეთებით, მყარდება ოპტიკური ქსელის წყვილ კვანძს შორის. გადაცემის სიჩქარე ასეთ გვირაბში არის 2,5-10 გბიტ/წმ მისი გაზრდის პერსპექტივით 40 გბიტ/წმ. გვირაბის დაყენება და დაშლა ხორციელდება პროტოკოლის ნიშნულების კომპუტაციის მეშვეობით. პრაქტიკულად, ერთ გვირაბში შეიძლება გაერთიანდეს კომპუტირებული LSP (Label Swithed Path) პროტოკოლის ნიშნულების ნებისმიერი რაოდენობა, რომელთა გადაცემის სიჩქარე შეიძლება იყოს რამოდენიმე კილობიტიდან, რამოდენიმე გიგაბიტამდე. ოპტიკური ბოჭკოს გამოყენების თვალსაზრისით უმჯობესია, რომ გაერთიანდეს რაც შეიძლება მეტი LSP გზები, ცხადია გვირაბის (ანუ λ - არხის) გამტარუნარიანობის ფარგლებში. მაგრამ, მართვის ამოცანების თვალსაზრისით, გვირაბის გამტარუნარიანობის ფარგლებში დიდი რაოდენობის LSP გზების არსებობა არ არის მიზანშეწონილი. ამ დროს, უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ინტერნეტ ქსელი ძალზე დინამიურია, როგორც დატვირთვის ძალზე დიდ ფარგლებში ცვალებადობის გამო, ასევე მარშრუტიზაციის სტრუქტურის ცვალებადობის გამო. შესაბამისად, კომპუტირებადი ტრაქტების განაწილების ამოცანას ქსელი უნდა უბრუნდებოდეს რეგულარულად, წინ მიღებული გადაწყვეტილებების გადასინჯვის მიზნით. ამასთანავე გათვალისწინებული უნდა იყოს LSP გზების დარეზერვების აუცილებლობა.

ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ქსელების მოქმედების ორგანიზაციის ჩვეულებრივი პრინციპი ითვალისწინებს ყოველი ინფორმაციული ნაკადისათვის ძირითადი და

სარეზერვო გზების შერჩევას. სარეზერვო გზების შერჩევის გარეშე რაგინდ ხანმოკლე დროითაც კი შეფერხება გამოიწვევდა ძალზე დიდი მოცულობის ინფორმაციის დაკარგვას. მაგალითისათვის, შეიძლება განვიხილოთ ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ხაზი, რომელშიც ორგანიზებულია OC-48 (2,488 გბიტ/წ) ტიპის ტალღის სიგრძის შესაბამისად დაყოფილი 40 ტრაქტი. დაზიანების შემთხვევაში მოხდება 1200000 სატელეფონო არხის მუშაობის შეფერხება. ამიტომ LSP გზების კომუტაციის ამოცანებში მომსახურების ხარისხის გათვალისწინებით, მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სიგნალიზაციის პროცესი, რომელიც იძლევა სარეზერვო მარშრუტების ოპტიმალურად შერჩევის საშუალებას. ოპტიმიზაციის პროცესი შეიძლება იყოს მრავალდონიანი. ის შეიძლება შეიცავდეს უმოკლესი გზების იტერატიულ დატვირთვას, აგრეთვე დატვირთვის ოპტიმალურ განაწილებას დიდი გაერთიანებული ნაკადებისათვის უპირატესობის გათვალისწინებით, რომლის დასახელებაც თანამედროვე ლიტერატურაში არის Ant Colony (პირდაპირი თარგმანი „ჭიანჭველების გროვა“).

ოპტიკურ-ბოჭკოვან ქსელებში ტელეტრაფიკის პრობლემატიკის თეორიულ ინსტრუმენტად დღეისათვის უფრო მეტად ფიზიკა ჩანს ვიდრე მათემატიკა. კომპუტირებადი გვირაბების ორგანიზებისათვის მიზანშეწონილი გადაწყვეტები დამოკიდებულია ოპტიკური ელემენტების ბაზის განვითარებაზე და ახალ დამუშავებაზე, მათ შორისაა ფიქსირებული ან გადაწყობადი სიხშირეების მიმღებებისა და გადამცემების, ტალღის სიგრძეთა გარდამსახებისა და სხვა ელემენტების დამუშავებაზე.

გარდა ტელეფონის აპარატისა, არსებობს მასობრივი გამოყენების სხვა სამომხმარებლო მოწყობილობებიც - პერსონალური კომპიუტერი, რომლის მომხმარებლებიც აგრეთვე არიან დაინტერესებულები კავშირგაბმულობის ქსელში ჩართვაზე. ამერიკის შეერთებულ შტატებში უსადენოდ ჩართვის WAP პროტოკოლების (Wireless Application Protocol) შექმნის გამო, IP პროტოკოლი წარმოადგენს ნებისმიერ ციფრული ქსელის არჩევის პროტოკლს. ევროპაში პაკეტური რადიოკავშირის განზოგადოებული მომსახურების შექმნამ - GPRS (General Packet Radio Service) ინტერნეტი ფაქტიურად აქცია მობილურ ქსელად. ამერიკის შეერთებული შტატების კომპანიამ Lucent Technologies შემოიტანა პაკეტური GSM ქსელი (Packet GSM), რომელშიც გათვალისწინებულია IP-პლატფორმა, მობილური კავშირის ქსელში მეტყველების სიგნალის პაკეტურად გადაცემისათვის. Packet GSM-მა გააფართოვა GPRS-ის

შესაძლებლობები, დაამატა მონაცემების პაკეტური გადაცემის უნარი, რითაც შესაძლებელი გახდა, როგორც დროის რეალურ მასშტაბში, ასევე საშუალოდ დახსომებით მუშაობა. ეს სისტემა ცნობილია, როგორც უსადენო კავშირის ქსელების 2,5G თაობა, რომელიც იძლევა საშუალებას არსებული, მეორე თაობის ქსელებიდან (GSM) გადაწყობით (მდოვრედ) გადავიდეთ მესამე თაობის ქსელებზე.

ტელეტრაფიკის კონგრესებზე მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა მობილური კავშირის ამოცანებს და პირველ რიგში კი, უნივერსალური მობილური კავშირის სისტემას UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). ამ მიმართულების განვითარება იძლევა საშუალებას ფართოდ გავრცელებული მობილური კავშირის მეორე თაობის სისტემებიდან, კერძოდ, ფიქსირებული არხების კომუტაციის პრინციპზე დაფუძნებული სისტემებიდან, გადავიდეთ მესამე თაობის სისტემებზე. მესამე თაობის მობილური კავშირის სისტემებს ძირითადი განსხვავება ის არის, რომ აქ მომხმარებლებს გამოეყოფათ ფართოზოლოვანი ლოგიკური არხები. თითოეული არხი იკავებს მობილური კავშირისათვის გამოყოფილ სიხშირულ ზოლს მთლიანად. ასეთი გადაწყვეტა არხის მახასიათებლებს ძალზე აახლოებს ჰაუსის არხის მახასიათებლებიდან და იძლევა საშუალებას უფრო ეფექტურად ექნას გამოყენებული გამოყოფილი სიხშირული სპექტრი.

მესამე თაობის სისტემებს საფუძვლად უდევს „მრავალსადგურული“, ფართოზოლოვანი ჩართვა, კოდური განცალკევების პრინციპით WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). აქ არხების რიცხვის შეზღუდვის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს ქსელის შიგნით წარმოქმნილი ურთიერთხელშეშლების დონე. ურთიერთხელშეშლა ვრცელდება არა მხოლოდ ერთი ფიჭის დონეზე, არამედ კავშირის გავრცელების მთელ უბანზე. ის ფაქტი, რომ WCDMA სისტემის ყველა აბონენტი ერთდროულად იყენებს ერთი და იგივე სიხშირულ ზოლს, ყალიბდება დამატებითი ხელშეშლები, რომლებიც მოქმედებს მეზობელი ფიჭების მუშაობაზე. მაგრამ, მეორეს მხრივ, ერთიანი სიხშირული ზოლის გამოყენება იძლევა საშუალებას, რომ კავშირი დამყარდეს ერთდროულად, მრავალ უახლოეს საბაზო სადგურთან და ამით იქნას უზრუნველყოფილი „რბილი“, გადაცემები, რაც საგრძნობლად ამცირებს ურთიერთხელშეშლებს მობილურ აბონენტებს შორის. აბონენტის მიერ რამოდენიმე რადიოარხის (მრავალსადგურთან) გამოყენებას მაკრომრავალფეროვნება (macro diversity) ეწოდება. ამ ამოცანას იხილავენ აგრეთვე, როგორც ადგილმდებარეობის მრავალფეროვნების შეხამებას (site diversity), ანუ რამოდენიმე პუნქტში მიღებული

სიგნალის არჩევის მრავალფეროვნებას (selection diversity), ანუ მიღებული სიგნალის რამოდენიმე ასლიდან არჩევა.

დღეისათვის ტელეტრაფიკის თეორიაში დიდი ყურადღება აქვს დათმობილი აბონენტის ადგილმდებარეობის მრავალფეროვნებისა და არჩევის საფუძველზე წარმატებული შედეგის (მოგების) შესაძლო მიღწევის კვლევას. კერძოდ, ჩატარებულია აღწერილი პროცესების მართვის მექანიზმების თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა, ძირითადად გადაცემის სიმძლავრის შემცირების შესაძლებლობების გამოვლენის მიზნით. ასევე, მიმდინარეობს ანალიზური კვლევაც, რომლის შედეგებს წარმოადგენს CDMA სისტემის ტევადობაზე აბონენტების „მდორედ“ გადასვლის მეთოდების გამოყენების ზეგავლენა.

საინტერესო ამოცანებია დასმული UMTS სისტემების მეზობელი ფიჭების ურთიერთზემოქმედების კვლევის მიმართულებით. ამ კვლევების საფუძველს წარმოადგენს შემთხვევითი სივრცული წერტილოვანი პროცესების თეორია. ასეთი კვლევების ყველაზე მოხერხებულ მოდელს წარმოადგენს ერთგვაროვანი სივრცული პუასონის პროცესი. ასეთი პროცესების საშუალებით შეიძლება აიგოს ფიჭური ქსელების საბაზო სადგურების და მოძრავი აბონენტების განლაგების მოდელები და თეორიულად გამოვთვალოთ უარის (ბლოკირების) ალბათობა. მნიშვნელოვანი შედეგებია მიღებული მომხმარებლების განაწილების კვლევის საფუძველზე, მაკრომრავალფეროვნებაზე „მოგება“, დასმულია მოძრავი აბონენტების არათანაბრად განაწილების ზეგავლენის გასათვალისწინებელი ამოცანები. ვინაიდან, ბუნებრივად, კლასტერის შიგნით აბონენტები არის დაჯგუფებულები და არათანაბრად განაწილებულები. აღსანიშნავია ტელეტრაფიკის თეორიაში სრულიად ახალი პროცესებისა და ტერმინების გამოჩენა, კერძოდ, კლასტერების ფორმირებისათვის გამოყენებულია მატერნის პროცესი, ხოლო არათანაბრობის განზომილებად კი - პარნოკორელაციური ფუნქცია.

ფიქსირებულ ქსელებზე უსადენოდ მიერთების სისტემების პარალელურად, წარმატებით ვითარდება მიერთების მობილური ქსელების დამუშავება. ასეთ ქსელებში კავშირი მყარდება მხოლოდ რადიოინტერფეისით ფიქსირებული ქსელის ინფრასტრუქტურის გამოყენების გარეშე. ამ შემთხვევაში პირდაპირი შეერთება შესაძლებელია მხოლოდ ქსელის მეზობელ კვანძებს შორის, ხოლო დამორებული კვანძები ერთმანეთს უკავშირდებიან მრავალჯერადი მიღებებით (გადაძახილი). აქ პრობლემა იმაშია, რომ ასეთი კავშირი მობილურ ქსელებში განიცდის უწყვეტ

ცვლილებას და აუცილებელია ასევე უწყვეტი ადაპტაციის გათვალისწინება და მარშრუტიზაციის სისტემის გადაწყობა ყოველი კონკრეტული შემთხვევისა და დროის მომენტის შესაბამისად (Ad hoc). მაგალითად ქსელი MANET (Mobile Ad hoc Network). ჯერჯერობით Ad hoc ქსელების სტრუქტურა განიხილება მხოლოდ სპეციალურ პუბლიკაციებში და კონფერენციებზე.

ფართოდ შემოდის შემთხვევითი გრაფების მოდელების გამოყენება მარშრუტიზაციის ამოცანებში, პროგრამული უზრუნველყოფის იერარქიული ორგანიზაციისათვის, ქსელის სუსტი ადგილების გასათვალისწინებლად და მრავალმისამართიანი შეერთებებისათვის.

ტელეტრაფიკის თეორიისათვის სრულიად სიახლეს წარმოადგენს Bluetooth ქსელის მათემატიკური მოდელი, რომლის საფუძველს წარმოადგენს ალდგენის თეორია, და განსაზღვრავს ქსელის მაქსიმალურ წარმადობას. Bluetooth ქსელი დაამუშავა კომპანია Ericsson-მა. ამ ქსელის იდეა წარმოშვა კომპიუტერის ისეთი კომპონენტებისაგან განთავისუფლების სურვილმა, როგორებიცაა კაბელები, კონექტორები და ა.შ, რაც ხელს შეუწყობდა საიმედოებას და მოწყობის სიმარტივეს. ამ ქსელის საფუძველს წარმოადგენს პიკოქსელი, რომელიც შეიცავს ძირითად კვანძს და არაუმეტეს შვიდ დაქვემდებარებულ კვანძს 10 მეტრის რადიუსში. ასეთი პიკოქსელები არის ერთმანეთთან დაკავშირებული სპეციალური კვანძებით, რომლებსაც ხიდები ეწოდებათ და ქმნიან დიდი მასშტაბის განაწილებულ ქსელს. მთავარ კვანძს, გარდა 7 ურთიერთდაკავშირებული კვანძისა, შეიძლება დაექვემდებაროს 255-მდე პასიური კვანძი. აქ ტელეტრაფიკის თვალსაზრისით სხვა ამოცანებთან ერთად საინტერესოა შემდეგი პროცესის მართვა. მთავარ კვანძს პასიური კვანძები გადაყვანილი ყავს უმცირესი ენერგომოთხოვნის რეჟიმში, მაგრამ თითოეული შეიძლება გააქტიურდეს ძირითადი კვანძის ბრძანებით. დღეისათვის ეს სისტემა ფუნქციონირებს არალიცენზირებად 2,4 გჰც სიხშირულ დიაპაზონში, რომელშიც დაყოფილია 1 მჰც ზოლიდან 79 არხად.

საერთო მოხმარების კავშირგაბმულობის ტრადიციული ქსელების აგება ხორციელდება იერარქიული სტრუქტურით. მაგალითად, ცნობილია, რომ სატელეფონო ქსელების ტრადიციული სტრუქტურა შეიცავს ხუთი იერარქიული დონის სატელეფონო სადგურებსა და კვანძებს. ინტერნეტის ქსელი აგებულია, ეგრეთწოდებული, არაიერარქიული სტრუქტურით, რომელიც ითვალისწინებს მხოლოდ მაგისტრალური ქსელისა და მიერთების ქსელების არსებობას. ასეთ სტრუქტურას ხშირად იარუსულ

სტრუქტურას უწოდებენ. ზედა იარუსზე განთავსებულია ქსელის ბირთვი, რომელიც შედგება კარგად ურთიერთდაკავშირებული ავტონომიური სისტემებისაგან. ეს კავშირები შეიძლება აღწერილი იყოს გრაფებით, რომლის მწვერვალებს წარმოადგენს ავტონომიური სისტემები. ავტონომიური სისტემების დონეზე ინტერნეტის სტრუქტურის მთლიანი აღწერისათვის იყენებენ „მწვერვალის თანგრის“, ცნებას, რომელიც აღინიშნება k ასოთი და მიუთითებს სხვა მწვერვალებთან არსებული კავშირების რიცხვს. ის შემთხვევითი სიდიდეა, და აღიწერება განაწილების ხარისხობრივი კანონით.

ქსელის ზედა იარუსის რაოდენობრივი მახასიათებლისათვის, ქსელის ელემენტებს შორის ურთიერთქმედებისადმი რაიმე ევრისტიკული დაშვებების გარეშე, სარგებლობენ ცნებით "richclub phenomenon" (პირდაპირი თარგმანი „მდიდართა კლუბის მოვლენა“, [30]).

ბოლო წლებში შეიმჩნევა მათემატიკური აპარატის ფართოდ შემოჭრა ტელეტრაფიკის თეორიაში, კლასიკური შედეგების დაზუსტების ან ცნობილი შედეგების უფრო დახვეწილი მათემატიკური აღწერის სახით. დღეს ტელეტრაფიკის პრაქტიკისათვის გამოიკვეთა შემდეგი საინტერესო ამოცანები:

1. ქსელებისა და მისი ელემენტების დატვირთვის მახასიათებლები:
 - რესურსების განაწილებისა და დანიშნულების ამოცანები;
 - დატვირთვების გაზომვა;
 - სტატისტიკური მულტიპლექსირება;
2. ტელეტრაფიკის მოდელირება;
3. მასობრივი მომსახურების სისტემების თეორიული კვლევა;
4. მომსახურების ხარისხი და ეკონომიკა:
 - ინტერნეტით მეტყველების სიგნალების გადაცემა;
 - სერვერების მოხმარება ტელეტრაფიკის პრაქტიკულ ამოცანებში.

მულტისერვისული ქსელის ტელეტრაფიკი

გასული საუკუნის 80-იან წლებში, ევროპასა და ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ფართო გავრცელება ჰპოვა კომუტაციის ახალმა მეთოდებმა: ასინქრონული დროითი განცალკევება - ATD (Asynchronous Time Division); პაკეტების სწრაფი კომუტაცია - FPS (Fast Paket Switching). საბოლოოდ კომუტაციის ეს მეთოდები საფუძვლად დაედო გადაცემის ასინქრონულ მეთოდს - ATM (Asynchronous Transfer Mode). ATM კომუტაციის და IP მარშრუტიზაციის მეთოდების უპირატესობების ერთობლიობის საფუძველზე განვითარდა ახალი ტექნოლოგია - MPLS (Multiprotocol Label Switching) - ნიშნულებით მრავალპროტოკოლიანი კომუტაცია. MPLS კომუტაციის პრინციპი დამყარებულია ნიშნულების მიმოცვლის პროცესზე. გადაცემული პაკეტის იდენტიფიცირება ხდება გარკვეული ნიშნულით, ამასთანავე ნიშნულის მნიშვნელობა (უნიკალურობა) განისაზღვრება ქსელის მხოლოდ მეზობედ კვანძებს შორის, რომლებიც წარმოადგენს, ნიშნულების შესაბამის მარშრუტიზატორებს. MPLS ტექნოლოგიის ძირითადი თავისებურებაა - პაკეტების კომუტაციის პროცესის განცალკევება IP - მისამართების ანალიზის პროცესისაგან. MPLS ტექნოლოგიის მათემატიკური მოდელი წარმოადგენს მასობრივი მომსახურების ქსელს მიმდევრობით წარმოდგენილი რიგებით. ასეთ სისტემებში ლოდინის დროის ალბათური მახასიათებლები შესწავლილია შრომებში [31-34].

ბურკეს თეორემის [35, 36] შესაბამისად, თუ კვანძის შესასვლელს მიეწოდება შეტყობინებათა პუასონის ნაკადი λ ინტენსიობით, სისტემის გამოსასვლელზე (სტაციონარულ პირობებში) ნაკადი აგრეთვე იქნება პუასონის და იგივე λ ინტენსიობით. მაგრამ, ვინაიდან მიმდევრობით განხილული რიგების შემთხვევაში, ჩვენ ვერ განვიხილავთ ქსელის კვანძებს ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, მაშინაც კი, როდესაც ბურკეს თეორემა სამართლიანია, ვიხილავთ ტელეტრაფიკის შემდეგ ამოცანებს:

- სისტემის მათემატიკურ მოდელს, რომელშიც შემოსული ტრაფიკის ინტენსიობა λ და მომსახურების ინტენსიობა დამოკიდებულია რიგის სიგრძეზე, უარების (კარგვების) რაოდენობაზე და სისტემის უკუქმედებაზე (იმ მდგომარეობაზე, რომელშიც ის იმყოფებოდა განსახილველ პერიოდამდე;

- ორი ფაზით მომსახურე სისტემის ამოცანა, როდესაც ქსელის მომსახურე კვანძები მიმდევრობით ერთდება.

სისტემა მოთხოვნათა შემოსვლისა და მომსახურების ცვლადი ინტენსიობებით

განვიხილოთ ცვლადი ინტენსიობითა და მეხსიერებით ზოგიერთი მასობრივი მომსახურების სისტემათა მათემატიკური მოდელების ალბათური ანალიზი; ისეთი სისტემების მათემატიკური მოდელების შესწავლა, რომლებშიც შემოსული ნაკადის ინტენსიობა ან მომსახურების ინტენსიობა დამოკიდებულია რიგის სიგრძეზე, უარების რაოდენობაზე და სისტემის იმ მდგომარეობაზე, რომელშიც ის იმყოფებოდა განსახილველ პერიოდამდე.

განვიხილოთ კარგების რეჟიმში მოქმედი სისტემები, ნაკადების ცვლადი ინტენსიობების პირობებში. ცხადია, რომ კავშირგაბმულობის რეალური ქსელები ხასიათდებიან მოთხოვნათა ნაკადების და მომსახურებათა ინტენსიობების ცვალებადობით და ამასთანავე მოთხოვნათა წყაროების რაოდენობა სასრულია. ასეთ სისტემებში უარების ნაკადების შესწავლა და სისტემის თვისებების განსაზღვრა ნებისმიერი ტიპის შემავალი ნაკადებისათვის არის რთული ამოცანა.

განვიხილავთ, უარების ნაკადის შესწავლასთან დაკავშირებულ ერთარხიანი სისტემის გამოკვლევის ზოგიერთ შედეგებს ცვლადი ინტენსიობის შემთხვევაში.

დავუშვათ, რომ N_t^1 არის პუასონის წერტილოვანი პროცესი, რომელიც ხასიათდება λ_t ინტენსიობით, ხოლო N_t^2 ტიპის პუასონის წერტილოვანი პროცესის ინტენსიობაა μ_t . N_t^1 არის t დროის განმავლობაში შემოსული მოთხოვნების რაოდენობა, რომელსაც მოცემული არხი t დროის განმავლობაში მოემსახურება, მაშინ უარების საშუალო რიცხვი ერთარხიანი სისტემისათვის იქნება:

$$MU_t = \int_0^t \lambda_s \left[e^{-\int_0^s (\lambda_u - \mu_u) du} \int_0^s \lambda_v e^{-\int_0^v (\lambda_u - \mu_u) du} dv ds \right] \quad (1)$$

სადაც U_t არის $[0, t)$ დროის შუალედში უარების რაოდენობა.

მარტინგალის მეთოდით ამ ფორმულის გამოყვანა მოცემულია [37] ნაშრომში.

(1) ფორმულის პრაქტიკული გამოყენებისათვის ვსარგებლობთ პროცესის სტაციონარულობით, რაც დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომში ბურკეს თეორემის საფუძველზე და შესაბამისად, როდესაც $\lambda_t \equiv \lambda$ და $\mu_t \equiv \mu$ გვექნება:

$$EU_t = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \lambda t. \quad (2)$$

სისტემის მომსახურების ხარისხი განისაზღვრება, როგორც t დროის განმავლობაში დაყოფილი მოთხოვნების რაოდენობის ფარდობა ამავე დროის შუალედში შემოსული მოთხოვნების რიცხვთან. (1) გამოსახულებაში თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$EN_t^1 = \int_0^t \lambda_s ds$$

მივიღებთ ერთარხიანი სისტემისათვის დაყოფილი მომსახურებული მოთხოვნებისათვის შემდეგ გამოსახულებას:

$$D_t = \frac{\int_0^t \lambda_s \left[e^{-\int_0^s (\lambda_u - \mu_u) du} \int_0^s \lambda_v e^{\int_0^v (\lambda_u + \mu_u) du} dv \right] ds}{\int_0^t \lambda_s ds} \quad (3)$$

ორი ფაზით მომსახურე სისტემა

განვიხილოთ ორი ფაზით მომსახურე სისტემა, როდესაც მომსახურე ხელსაწყო წარმოადგენს ორ მიმდევრობით მომსახურების კვანძს და თუ რიგი ფაზებს შორის და პირველი ხელსაწყოს წინაც დაკავებულია, მაშინ შემოსული ახალი მოთხოვნა ღებულობს უარს და იკარგება.

დავუშვათ, რომ N_t^1 წარმოადგენს პუასონის ტიპის შემთხვევით პროცესს λ_t ინტენსივობით და ის აღნიშნავს t დროის განმავლობაში შემოსული მოთხოვნების რაოდენობას, ხოლო N_t^2 არის პუასონის ტიპის წერტილოვანი პროცესი λ_{μ} ინტენსივობით და აღნიშნავს პირველ ან მეორე კვანძში მომსახურებული მოთხოვნების რაოდენობას.

ავლნიშნოთ დროის t მომენტისათვის პირველი და მეორე კვანძების მდგომარეობა $Q_1(t)$ და $Q_2(t)$ შესაბამისად:

$$Q_i(t) = \begin{cases} 0 - \text{თუ კვანძი თავისუფალია} \\ 1 - \text{თუ კვანძი დაკავებულია} \end{cases}$$

კვანძების მდგომარეობა აღვწეროთ შემდეგი მდგომარეობებით:

$$Q_1(t) = \int_0^t [1 - Q_1(s-)] dN_s^{-1} - \int_0^t Q_1(s-) dN_s^{-2} \quad (4)$$

$$Q_2(t) = \int_0^t Q_1(s-) dN_s^{-2} - \int_0^t Q_2(s-) dN_s^{-2} \quad (5)$$

წერტილოვანი პროცესის თვისებების გათვალისწინებით, თუ ავლნიშნავთ

$$EQ_1(t) = \pi_1(t), \quad EQ_2(t) = \pi_2(t),$$

მივიღებთ:

$$\pi_1(t) = \int_0^t \lambda_s [1 - \pi_1(s)] ds - \int_0^t \mu_s [1 - \pi_1(s)] ds \quad (6)$$

$$\pi_2(t) = \int_0^t \mu_s \pi_1(s) ds - \int_0^t \mu_s \pi_2(s) ds \quad (7)$$

(6)-დან ვღებულობთ, რომ $\pi_1(t) = \lambda_t^{-1} \lambda_t \pi_1(t) - \mu_t \pi_1(t)$. მაშინ

$$\pi_1(t) = e^{-\int_0^t (\lambda_s + \mu_s) ds} \int_0^t e^{\int_0^s (\lambda_u + \mu_u) du} \quad (8)$$

(7) თანაფარდობიდან გვექნება $\pi_2(t) = \mu_t^{-1} \mu_t \pi_2(t) - \mu_t \pi_2(t)$. აქედან კი

$$\pi_2(t) = e^{-\int_0^t (\lambda_s + \mu_s) ds} - \int_0^t e^{-\int_0^s (\lambda_u + \mu_u) du} \left[\int_0^s \lambda_u e^{\int_0^u (\lambda_v + \mu_v) dv} du \right] ds \quad (9)$$

ამჯერად ჩვენ განვსაზღვრეთ იმის ალბათობა, რომ სისტემაში პირველი და მეორე ფაზა დაკავებულია. იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ალბათობა ორივე ფაზის ერთდროულად დაკავებულობისა, გამოვიყენოთ ფორმულა:

$$Q_1(t) \cdot Q_2(t) = \int_0^t Q_1(s) - dQ_2(s) + \int_0^t Q_2(s-) - dQ_1(s) + \sum_{0 < s \leq t} \Delta Q_1(s-) \Delta Q_2(s-) + Q_1(0) + Q_2(0) \quad (10)$$

და გამოვითვლით მათემატიკურ მოლოდინს $E [Q_1(t) \cdot Q_2(t)]$.

t დროის განმავლობაში უარების მათემატიკური მოლოდინი ტოლია

$$EU_t = E \int_0^t Q_1(t) d_0 N_s^{-1}$$

აქედან

$$EU_t = E \int_0^t \pi_1(t) \lambda_s ds \quad (11)$$

თუ $\pi_1(t)$ მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ, მაშინ უარების მათემატიკური მოლოდინი ცხადად არის განსაზღვრული [38].

ერთარხიანი სისტემა შეზღუდული რიგით

ზემოთგანხილული მეთოდით ჩვენ შეიძლება შევუდგეთ ერთარხიანი სისტემის აღწერას შეზღუდული რიგით. სიმარტივისათვის განვიხილოთ ერთარხიანი სისტემა ლოდინის ერთი არხით, რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ ლოდინის ეს ერთი არხი დაკავებულია, მაშინ შემოსული მოთხოვნა იკარგება.

ავლნიშნოთ t დროის მომენტისათვის არხის მდგომარეობა $Q_1(t)$, ხოლო ლოდინის ადგილის მდგომარეობა t დროის მომენტისათვის $Q_2(t)$, მაშინ:

$$Q_1(t) = \begin{cases} 0, & \text{თუ არხი თავისუფალია,} \\ 1, & \text{თუ არხი დაკავებულია;} \end{cases}$$

$$Q_2(t) = \begin{cases} 0, & \text{თუ ლოდინის ადგილი თავისუფალია,} \\ 1, & \text{თუ ლოდინის ადგილი დაკავებულია.} \end{cases}$$

ასეთი სისტემა შეიძლება აღმოჩნდეს შემდეგ სამ შესაძლო მდგომარეობაში: (0,0), (0,1), (1,1). თუ N_t^{-1} და N_t^{-2} არის იგივე შინაარსის შემთხვევითი პროცესები, როგორც წინათგანხილულ ამოცანებში, მაშინ

$$Q_1(t) = \int_0^t [1 - Q_1(s-)] dN_s^{-1} - \int_0^t Q_1(s-)[1 - Q_2(s-)] dN_s^{-2} \quad (12)$$

$$Q_2(t) = \int_0^t Q_1(s-) [1 - Q_2(s-)] dN_s^1 - \int_0^t Q_1(s-) Q_2(s-) dN_s^2 \quad (13)$$

თუ გამოვიყენებთ (7), შეიძლება განისაზღვროს თანაფარდობა

$$Q_1(t)Q_2(t) = \int_0^t [Q_1(s-) - Q_2(s-)] dN_s^1 - \int_0^t Q_1(s-)Q_2(s-) dN_s^2 \quad (14)$$

აღვნიშნოთ

$$EQ_1(t) = \pi_1(t), EQ_2(t) = \pi_2(t), E[Q_1(t) \cdot Q_2(t)] = \rho_{1,2}(t).$$

ცხადია, რომ უარების მათემატიკური მოლოდინის განსასაზღვრად უნდა ვიპოვოთ $\rho_{1,2}(t)$, ვინაიდან

$$EU_t = \int_0^t \lambda_s \rho_{1,2}(s) ds$$

ამას გარდა, (12), (13), (14) თანაფარდობებიდან ჩვენ ვღებულობთ დიფერენციალურ განტოლებების შემდეგ სისტემებს:

$$\begin{aligned} \pi_1'(t) &= \lambda(t) - [\lambda(t) + \mu(t)] \pi_1(t) + \mu(t) \rho_{1,2}(t) . \\ \pi_2'(t) &= \lambda(t) \pi_1(t) - [\lambda(t) + \mu(t)] \rho_{1,2}(t) . \\ \rho_{1,2}'(t) &= \lambda(t) \pi_1(t) + \lambda(t) \pi_2(t) - [2\lambda(t) + \mu(t)] \rho_{1,2}(t) . \end{aligned} \quad (15)$$

აქ საწყის პირობებს წარმოადგენს $\pi_1(0) = 0, \pi_2(0) = 0, \rho_{1,2}(0) = 0$.

სისტემა მოთხოვნათა არასტაციონარული ნაკადის მომსახურების რეჟიმში

კარგების სისტემების თავისებურებათა შესწავლა არის ტელეტრაფიკის თეორიის ერთ-ერთი ურთულესი ამოცანა. მოთხოვნათა სტაციონარული ნაკადისათვის ეს პრობლემა შეიძლება გადაწყდეს ანალიზურად, ხოლო თუ მოთხოვნათა ნაკადი არასტაციონარულია, მაშინ წარმოდგენილი მეთოდი ხვდება დიდ სირთულეებს.

განვიხილოთ, დროის გარკვეულ მონაკვეთში წარუმატებელი მოთხოვნების განსაზღვრის შესაძლებლობა, როდესაც შემოსულ მოთხოვნათა და მომსახურების ინტენსიობები, დროზე დამოკიდებული სიდიდეებია. ასეთი ანგარიშის განხორციელება შესაძლებელია მარტინგალის მეთოდის საშუალებით [39].

დავუშვათ, რომ (Ω, Φ, P) არის ალბათური სივრცე, ხოლო $F = (F_t)_{t \geq 0}$ კი $F_t \subseteq F$ უზნებად-უწყვეტი მიუღწევადი სუბალგებრა, შევსებული P მარტინგალით. დავუშვათ, რომ N_t^1, F_t, P ,

$i=1,2$ არის ელემენტარული წერტილოვანი პროცესები (ე.ი. პროცესები, რომლებიც იწყებიან ნულიდან და აქვთ $N_t^i=0$ or $+1$ ტრაექტორიები), სადაც $N_t^i = N_t^i - N_{t-}^i$. ეს პროცესი წარმოადგენს ლოკალურ სუბმარტინგალს და დუბ-მეიერის ცნობილი თეორემის თანახმად, დასაშვებია $N_t^i = m_t^i + A_t^i$ გაფართოება, სადაც $m^i=(m_t^i, F_t, P)$ წარმოადგენს ლოკალურ მარტინგალს და $A^i=(A_t^i, F_t, P)$ არის კომპენსატორი - მიუღვევადი განსაზღვრებადი პროცესი, $A_0^i=0$.

იმ შემთხვევაში, როდესაც

$$A_t^i = \int_0^t \lambda^i(s, \omega) ds$$

სადაც $\lambda^i(s, \omega) \geq 0$, $\lambda^i(s, \omega) = F_s$ ინტენსიობები იზომება ყოველი $s > 0$ -თვის, N^i პროცესი ითვლება პუასონის ტიპად. თუ $\lambda^i(s, \omega)$ არის $\lambda^i(s)$ -ის დეტერმინირებული ფუნქცია, მაშინ N^i წარმოადგენს პუასონის პროცესს $\lambda^i(s)$ დეტერმინირებული ცვლადი ინტენსიობით.

დისერტაციაში N_t^1 წერტილოვანი პროცესი $\lambda^1(t, \omega)$ ინტენსივობით განხილულია, როგორც მოთხოვნის შემოსვლის (N_t^1 არის t დროის განმავლობაში შემოსული მოთხოვნების რიცხვი), მაშინ როდესაც N_t^2 არის წერტილოვანი პროცესი $\lambda^2(t, \omega)$ სტოქასტური ინტენსივობით, როგორც მასობრივი მომსახურების შესაბამისი პროცესი (N_t^2 არის მოთხოვნათა რიცხვი, რომლებიც შეიძლება მომსახურებული იქნას t დროის განმავლობაში).

აქ განხილული ერთარხიანი მასობრივი მომსახურების სისტემა მოქმედებს შემდეგნაირად. შემოსული მოთხოვნა დაუყოვნებლივ სრულდება, თუ არხი თავისუფალია; წინააღმდეგ შემთხვევაში გამოძახება ღებულობს უარს. ჩვენი მიზანია აღვწეროთ ეს სისტემა და განვსაზღვროთ $[0, t]$ დროის განმავლობაში U_t უარების რიცხვის მათემატიკური მოლოდინი EU_t , მარტინგალის მეთოდის გამოყენებით.

დავუშვათ, რომ U_t არის $[0, t]$ დროის შუალედში უარების რიცხვი; ψ_t არის t დროის მომენტში მოთხოვნის მომსახურე სისტემის მდგომარეობის დამახასიათებელი ფუნქცია:

$$\psi_t = \begin{cases} 1, & \text{არხი დაკავებულია,} \\ 0, & \text{არხი თავისუფალია.} \end{cases}$$

მაშინ სამართლიანია, რომ

$$I(\psi_t = 1) = N_t^1 - U_t - \int_0^t I(\psi_s = 1) dN_s^2, \quad (16)$$

$$U_t = \int_0^t I(\psi_s = 1) dN_s^1, \quad (17)$$

საიდანაც ვღებულობთ

$$EU_t = E \int_0^t I(\psi_s = 1) dN_s^1 \quad (18)$$

თუ $N^1_2 = m^1_s + A^1_s$ არის დუბ-მეიერის დეკომპოზიცია, მაშინ

$$E \int_0^t I(\psi_{s-} = 1) dN_s^1 = E \int_0^t I(\psi_{s-} = 1) dA_s^1 \quad (19)$$

დაშვებით, რომ

$$dA_s^1 = \lambda^1(s, \omega) ds,$$

სადაც $\lambda^1(s, \omega) = \lambda_s$ დეტერმინირებული ფუნქციაა, (18)-დან, (19)-ის გათვალისწინებით, მივიღებთ

$$EU_t = E \int_0^t EI(\psi_{s-} = 1) \lambda_s ds. \quad (20)$$

თუ $dA_s^2 = \lambda^2(s, \omega) ds$, სადაც $\lambda^2(s, \omega) = \mu_s$ აგრეთვე დეტერმინირებული ფუნქციაა, მაშინ თუ $\alpha_t = EI(\psi_t = 1)$ (16)-დან მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \alpha_t &= EN_t^1 - EU_t - E \int_0^t I(\psi_{s-} = 1) dN_s^2 = \\ &= EN_t^1 - EU_t - \int_0^t EI(\psi_{s-} = 1) \mu_s ds = \int_0^t \lambda_s ds - \int_0^t \alpha_s (\lambda_s + \mu_s) ds. \end{aligned}$$

შესაბამისად

$$\alpha_t = \lambda_t - (\lambda_t + \mu_t) \alpha_t, \quad (21)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\alpha_0 = 0$, გვექნება

$$\alpha_t = e^{-\int_0^t (\lambda_s + \mu_s) ds} \int_0^t \lambda_s e^{\int_0^s (\lambda_u + \mu_u) du} ds. \quad (22)$$

(20) და (22) გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ შემდეგი შედეგი: U_t უარების რიცხვის მათემატიკური მოლოდინი განისაზღვრება ფორმულით

$$EU_t = \int_0^t \lambda_s \left[e^{-\int_0^s (\lambda_u + \mu_u) du} \int_0^s \lambda_v e^{\int_0^v (\lambda_u + \mu_u) dv} ds \right] ds. \quad (23)$$

**ტრაფიკის მომსახურების ანალიზი დეიტაგრამული
რეჟიმის სისტემებში**

დევისის (Davies) [40] მიერ აღწერილია დეიტაგრამული გადაცემის სისტემებში მოთხოვნათა დიფერენცირებული ჩაგდებათ რიგის კონტროლის მეთოდი. მეთოდის იდეა მდგომარეობს იმაში, რომ პირდაპირი კვანძის სივრცეში ტრაფიკის პაკეტები კომპუტაციის ყოველ წერტილში იკავებენ ბუფერის კვანძებს და მათი მომსახურება ხდება მაღალი პრიორიტეტით შემომავალი ნაკადის მოთხოვნებთან შედარებით.

კ.მეიერმა შეისწავლა, რიგის ალბათური მახასიათებლები, იმ შემთხვევისათვის, როდესაც მომსახურების ინტენსივობა დამოკიდებულია რიგის სიგრძის გარკვეულ მნიშვნელობაზე და მას რიგთა თეორიაში შემოთავაზებული აქვს ორი კონცეპცია: „S-ის წესი„ და „s,S-ის წესი„ [41].

დავუშვათ, რომ N არის კომპუტაციის მოცემულ კვანძში ინფორმაციის საშუალოდ დამახსოვრებისათვის არსებული ბუფერული ზონების „პულის„ მოცულობა. შემომავალი დატვირთვის შეზღუდვის მექანიზმი მდგომარეობს იმაში, რომ რიგის მაკონტროლებელი (ტრაფიკის მაკონტროლებელი) ღებულობს პირდაპირი ტრაფიკის პაკეტებს მანამ, სანამ არსებობს თავისუფალი ზონები ბუფერში. მომხმარებლისაგან კი ახალი პაკეტები მიიღება მანამ, სანამ არ შეივსება ბუფერი $S(s < N)$.

დავუშვათ, რომ პირდაპირი ტრაფიკისა და მომხმარებლის პაკეტების რიგები არიან მარტივი, პარამეტრებით λ_1 და λ_2 . კომპუტაციის კვანძში მათი გავლის დრო განაწილებულია ექსპონენციალურად, პარამეტრით μ . დავუშვათ, რომ $P_k(t)$ არის k რაოდენობის პაკეტების არსებობის დროის ალბათობა გამოყოფილ კვანძში $t(k=0,1,2,\dots,N)$, მაშინ

$$\begin{aligned}
 P_0(t+\Delta t) &= P_0(t)(1-\lambda_1\Delta t - \lambda_2\Delta t) + \mu P_1(t) + 0(\Delta t); \\
 P_k(t+\Delta t) &= P_k(t)(1-\lambda_1\Delta t - \lambda_2\Delta t) - \mu\Delta t + \\
 &+ (\lambda_1+\lambda_2)P_{k-1}(t) + \mu\Delta t P_{k+1}(t) + 0(\Delta t); \quad k = (1,2,\dots,s-1); \\
 P_s(t+\Delta t) &= P_s(t)(1-\lambda_1\Delta t - \mu\Delta t) + (\lambda_1+\lambda_2)P_{s-1}(t) + \mu P_{s+1}(t) + 0(\Delta t); \\
 P_k(t+\Delta t) &= P_k(t)(1-\lambda_1\Delta t - \mu\Delta t) + \lambda_1 P_{k-1}(t) + \mu P_{k+1}(t) + 0(\Delta t); \quad (k=s+1, s+2,\dots,N-1) \\
 P_N(t+\Delta t) &= P_N(t)(1-\mu\Delta t) + \lambda_1 P_{N-1}(t).
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

გარდაქმნებისა და $\Delta t \rightarrow 0$ ზღვარზე გადასვლით მივიღებთ დიფერენციალურ განტოლებათა შემდეგ სისტემას:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0(t) + \mu P_1(t); \\ \frac{dP_k(t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)P_k(t) + (\lambda_1 + \lambda_2)P_{k-1}(t) + \mu P_{k+1}(t); \quad (k = 1, 2, \dots, S-1); \\ \frac{dP_S(t)}{dt} &= -(\lambda_1 - \mu)P_S(t) + (\lambda_1 + \lambda_2)P_{S-1}(t) + \mu P_{S+1}(t); \\ \frac{dP_k(t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \mu)P_k(t) + \lambda_1 P_{k-1}(t) + \mu P_{k+1}(t); \quad (k = S+1, S+2, \dots, N-1); \\ \frac{dP_N(t)}{dt} &= -\mu P_N(t) + \lambda_1 P_{N-1}(t). \end{aligned} \quad (25)$$

თუ გადავალთ ზღვარზე, როდესაც $t \rightarrow \infty$, გვექნება

$$\begin{aligned} (\lambda_1 + \lambda_2)P_0 - \mu P_1 &= 0; \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)P_k - (\lambda_1 + \lambda_2)P_{k-1} - \mu P_{k+1} &= 0; \quad (k=1, 2, \dots, S-1); \\ (\lambda_1 + \mu)P_S - (\lambda_1 + \lambda_2)P_{S-1} - \mu P_{S+1} &= 0; \\ (\lambda_1 + \mu)P_k - \lambda_1 P_{k-1} - \mu P_{k+1} &= 0; \quad (k = S+1, S+2, \dots, N-1); \\ \mu P_N - \lambda_1 P_{N-1} &= 0. \end{aligned} \quad (26)$$

დავუშვათ, რომ $\sum_{k=0}^N P_k(t) = 1$, მაშინ (26) გვაძლევს შემდეგ რეკურენტულ

თანაფარდობებს:

$$\begin{aligned} P_k &= \left(\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu} \right)^k P_0, \quad (k = 1, 2, \dots, S); \\ P_k &= \left(\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu} \right)^S \left(\frac{\lambda_1}{\mu} \right)^{k-S} P; \\ P_0 &= \frac{\left(1 - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu} \right) \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu} \right)}{\left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu} \right) \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu} \right)^S \right] + \frac{\lambda_1}{\mu} \left(1 - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu} \right) \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu} \right)^{N-S} \right]}. \end{aligned} \quad (27)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნები $\frac{\lambda_1}{\mu} = \rho_1$ და $\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu} = \rho_2$, ($\rho_1 < \rho_2 < 1$), მივიღებთ:

$$P_k = \frac{\rho_2^k (1 - \rho_1)(1 - \rho_2)}{(1 - \rho_1)(1 - \rho_2^S) + \rho_1(1 - \rho_2)(1 - \rho_1^{N-S})}, \quad (k = 1, 2, \dots, S) \quad (28)$$

$$P_k = \frac{\rho_2^S \rho_1^{k-S} (1 - \rho_1)(1 - \rho_2)}{(1 - \rho_1)(1 - \rho_2^S) + \rho_1(1 - \rho_2)(1 - \rho_1^{N-S})}, \quad (k = S+1, S+2, \dots, N-1) \quad (29)$$

დავუშვათ, რომ ისევე როგორც წინა შემთხვევაში N არის ბუფერის პულის მოცულობა. დავუშვათ აგრეთვე, რომ შემომავალი ნაკადების შემზღვეველ მექანიზმს

წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ პირდაპირი ტრაფიკის პაკეტები მეორდებიან (ხდება მიღება) მანამ, სანამ ბუფერი თავისუფალია. ახალი სააბონენტო პაკეტები აღიქმება კომუტაციის წერტილში მანამ, სანამ დაკავებული ბუფერების რაოდენობა მიაღწევს $S(s < N)$ და ამის შემდეგ მათი მიღება აღდგება, თუ თავისუფალი ბუფერების რიცხვი შეადგენს $N-s$ ($s < S$).

დავუშვათ, რომ $P_k^{(1)}(t)$ არის იმის ალბათობა, რომ საკომუტაციო კვანძში გარკვეულ t დროში k რაოდენობის ბუფერების შევსება მიმდინარეობს ($k=1,2,\dots,S-1$) პირდაპირი ტრაფიკის და სააბონენტო პაკეტებით, ხოლო $P_k^{(2)}(t)$ არის იმის ალბათობა, რომ კომუტაციის კვანძში $k(k=S+1,S+2,\dots,N)$ ბუფერები ივსება დროის გამოყოფილ ინტერვალში (კვანძში) მხოლოდ პირდაპირი ტრაფიკის პაკეტებით.

თუ პირდაპირი ტრაფიკი და შემავალი ნაკადები არის მარტივი λ_1 და λ_2 პარამეტრებით, ხოლო მათი „საკომუტაციო სისტემაში„ არსებობის დროის ხანგრძლიობა განაწილებულია ექსპონენციალური კანონით, პარამეტრით μ , მაშინ სისტემა შეიძლება აღწერილი იქნას დიფერენციალური განტოლებების სისტემით:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= \mu P_1^{(1)}(t) - (\lambda_1 + \lambda_2) P_0(t); \\ \frac{dP_k^{(1)}(t)}{dt} &= \mu P_{k+1}^{(1)}(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu) P_k^{(1)}(t) + (\lambda_1 + \lambda_2) P_{k-1}^{(1)}(t); \quad (k=1,2,\dots,S-1); \\ \frac{dP_s^{(1)}(t)}{dt} &= \mu P_{s+1}^{(1)}(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu) P_s^{(1)}(t) + (\lambda_1 + \lambda_2) P_{k-1}^{(1)}(t); \\ \frac{dP_k^{(1)}(t)}{dt} &= \mu P_{k+1}^{(1)}(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu) P_k^{(1)}(t) + (\lambda_1 + \lambda_2) P_{k-1}^{(1)}(t); \quad (k=s+1,\dots,S-2); \\ \frac{dP_{S-1}^{(1)}(t)}{dt} &= (\lambda_1 + \lambda_2) P_{S-2}^{(1)}(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu) P_{S-1}^{(1)}(t); \\ \frac{dP_{S+1}^{(1)}(t)}{dt} &= \mu P_{S+2}^{(2)}(t) - (\lambda_2 + \mu) P_{S+1}^{(2)}(t); \\ \frac{dP_k^{(1)}(t)}{dt} &= \mu P_{k+1}^{(2)}(t) - (\lambda_2 + \mu) P_k^{(2)}(t) + \lambda_2 P_{k-1}^{(2)}(t); \quad (k=s+2,\dots,S-1; S+2,\dots,N-1); \\ \frac{dP_S^{(1)}(t)}{dt} &= \mu P_{S+1}^{(2)}(t) - (\lambda_2 + \mu) P_S^{(2)}(t) + (\lambda_1 + \lambda_2) P_{S-1}^{(1)}(t) + \lambda_2 P_{S-1}^{(2)}(t); \\ \frac{dP_N^{(2)}(t)}{dt} &= \lambda_2 P_{N-1}^{(2)}(t) - \mu P_N^{(2)}(t). \end{aligned} \tag{30}$$

გადავიდეთ (30) სისტემაში $t \rightarrow \infty$ ზღვარზე, მაშინ დამყარებული რეჟიმის ალბათური მახასიათებლები მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$\begin{aligned}
P_1^{(1)} &= \rho_2 P_0; \\
(1 + \rho_2)P_k^{(1)} &= \rho_2 P_{k-1}^{(1)} + P_{k+1}^{(1)}, \quad (k = 1, 2, \dots, s-1; s+1, \dots, S-2); \\
(1 + \rho_2)P_S^{(1)} &= \rho_2 P_{S-1}^{(1)} + P_{S+1}^{(1)} + P_{S+1}^{(2)}; \\
(1 + \rho_2)P_{S-1}^{(1)} &= \rho_2 P_{S-2}^{(1)}; \\
(1 + \rho_1)P_{S+1}^{(2)} &= P_{S+2}^{(2)} \\
(1 + \rho_1)P_k^{(2)} &= \rho_1 P_{k-1}^{(2)} + P_{k+1}^{(2)}, \quad (k = s+2, \dots, S-1; S+1, \dots, N-1); \\
(1 + \rho_1)P_S^{(2)} &= \rho_2 P_{S-1}^{(1)} + \rho_1 P_{S-1}^{(2)} + P_{S+1}^{(2)}; \\
P_N^{(2)} &= \rho_1 P_{N-1}^{(2)}.
\end{aligned} \tag{31}$$

როგორც წინა შემთხვევაში შემოვიტანოთ აღნიშვნები $\rho_2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu}$, $\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu}$

წრფივი ალგებრული განტოლებების სისტემის ამოხსნის მიზნით შემოვიტანოთ მაწარმოებელი ფუნქციები:

$$F^{(1)}(Z) = \sum_{k=1}^{S-1} P_k^{(1)} Z^k, \quad F^{(2)}(Z) = \sum_{k=S+1}^N P_k^{(2)} Z^k.$$

(31)-დან მაწარმოებელი ფუნქციებისათვის მივიღებთ:

$$F^{(1)}(Z)(1-Z)(1-\rho_2 Z) = \rho_2 Z(1-Z)P_0 - P_{S+1}^{(2)} Z^{S+1} + \rho_2 \rho_{S-1}^{(1)} Z^{S+1}. \tag{32}$$

$$F^{(2)}(Z)(1-Z)(1-\rho_1 Z) = \rho_1 Z^{N+1} P_N^{(2)} (1+Z) - P_{S+1}^{(2)} Z^{S+1} + \rho_2 \rho_{S-1}^{(1)} Z^{S+1}. \tag{33}$$

თუ შევცვლით $Z=1$ და $Z=1/\rho_2$, მივიღებთ:

$$P_{S+1}^{(2)} = \rho_2 P_{S-1}^{(1)}. \tag{34}$$

$$P_{S-1}^{(1)} = \rho_2^{S-1} \frac{1-\rho_2}{1-\rho_2^{S-S}} P_0. \tag{35}$$

იგივე გამოთვლები $Z=1/\rho_1$ -თვის გვაძლევს შემდეგ გამოსახულებას

$$P_N^{(2)} = \rho_2^S \rho_1^{N-S} \frac{(1-\rho_1^{S-S})(1-\rho_2)}{(1-\rho_2^{S-S})(1-\rho_1)} P_0 \tag{36}$$

თუ ჩავსვამთ (34) და (35)-ს (32) და (33)-ში, გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ, რომელიც შემოთავაზებულია კ.მეიერის [56] მიერ, ვსაზღვრავთ:

$$P_k^{(1)} = \rho_2^k P_0, \quad (k = 1, 2, \dots, s); \tag{37}$$

$$P_k^{(1)} = \rho_2^k \frac{1-\rho_2^{S-k}}{1-\rho_2^{S-s}}, \quad (k = s+1, \dots, S-1); \tag{38}$$

$$P_s^{(2)} = \rho_2^S \rho_1^{n-s} \frac{(1-\rho_1^{S-s})(1-\rho_2)}{(1-\rho_2^{S-s})(1-\rho_1)} P_0. \tag{39}$$

ნორმირების პირობიდან

$$\sum_{k=0}^{S-1} P_k^{(1)} + \sum_{k=S}^N P_k = 1$$

განსაზღვრება P_0 -ის მნიშვნელობა

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=1}^s \rho_2^k + \sum_{k=s+1}^{S-1} \rho_2^k \frac{(1-\rho_2^{S-k})}{1-\rho_2^{S-s}} + \sum_{k=S}^N \rho_2^S \rho_1^{n-s} \frac{(1-\rho_1)^{S-s} (1-\rho_2)}{(1-\rho_2^{S-s})(1-\rho_1)}}} \quad (40)$$

დეიტაგრამული რეჟიმის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია კომპუტაციის კვანძში ტრანზიტული პაკეტების მომსახურებაზე უარების ალბათობა, განსაზღვრული (36) ფორმულით. თუ განვიხილავთ "s" და "s,S" წესების შესაბამისი რიგის სიგრძის მათემატიკური მოლოდინის მნიშვნელობებს, აღმოჩნდება, რომ მეორე შემთხვევაში რიგის სიგრძე უფრო ნაკლებია.

ფორმულები (37-40) იძლევიან საშუალებას მივიღოთ ცხადი სახით $F^{(1)}(Z)$ და $F^{(2)}(Z)$ მაწარმოებელი ფუნქციების გამოსახულებები და შესაბამისად გამოვთვალოთ შესაბამისი ოპერაციული მახასიათებლები.

მრავალარხიანი სისტემა რიგებითა და ცვლადი ინტენსიობის ტრაფიკით

ვთქვათ მრავალარხიანი სისტემა შეიცავს n არხს და არხები დანომრილია ციფრებით $1, \dots, n$ და ახლადშემოსული მოთხოვნა იკავებს თავისუფალ არხს უმცირესი ნომრით. თუ ყველა არხი დაკავებულია, მაშინა შემოსული მოთხოვნა იღებს უარს მომსახურებაზე. შემოსულ მოთხოვნათა ინტენსიობა არის მოთხოვნის შემოსვლის დროის მომენტისა და მომსახურების სისტემის თავისუფალი არხების რიცხვის ფუნქცია.

აღვნიშნოთ $Q_i(t)$ -თი i -ური არხის მდგომარეობა, $i=1, \dots, n$ t მომენტში. მაშინ:

$$Q_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{თუ არხი თავისუფალია} \\ 1, & \text{თუ არხი დაკავებულია} \end{cases}$$

სისტემის მდგომარეობა რიგის გათვალისწინებით შეიძლება აღწერილი იქნას შემდეგი გამოსახულებით:

$$Q_1(t) = \int_0^t [1 - Q_1(s-)] [n - \sum_{i=1}^n Q_i(s-)] dN_s^1 - \int_0^t Q_1(s-) dN_s^2,$$

$$Q_k(t) = \int_0^t \prod_{i=1}^{k-1} Q_i(s-) [1 - Q_k(s-)] [n - \sum_{i=1}^n Q_i(s-)] dN_s^1 - \int_0^t Q_k(s-) dN_s^2, \quad (41)$$

$$(k = 1, 2, \dots, n)$$

ჩვენი მიზანია - გამოვთვალოთ $[0, t]$ ინტერვალში U_t უარების რიცხვის მათემატიკური მოლოდინი EU_t

$$EU_t = E \int_0^t \prod_{i=1}^n Q_i(s-) dN_s^1. \quad (42)$$

წარმოვიდგინოთ უარების რიცხვის მათემატიკური მოლოდინის ანგარიში $n=2$ შემთხვევისათვის

$$Q_1(t) = \int_0^t [1 - Q_1(s-)] [2 - \sum_{i=1}^2 Q_i(s-)] dN_s^1 - \int_0^t Q_1(s-) dN_s^2; \quad (43)$$

$$Q_2(t) = \int_0^t [Q_1(s-)] [1 - Q_2(s-)] dN_s^1 - \int_0^t Q_2(s-) dN_s^2. \quad (44)$$

ცნობილია [42], თუ A_t და B_t , $t \geq 0$ არის სასაზღვრო ვარიაციის უწყვეტი ფუნქციები, შეიძლება გამოვიყენოთ სტილტიესის შემდეგი ფორმულა

$$A_t \cdot B_t = A_0 B_0 + \int_0^t A_{s-} dB_s + \int_0^t B_{s-} dA_s + \sum_{s \leq t} (A_s - A_{s-})(B_s - B_{s-}). \quad (45)$$

თუ $Q_1(t)$ და $Q_2(t)$ აგრეთვე არის სასაზღვრო ვარიაციის უწყვეტი ფუნქციები, მაშინ (45)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$Q_1(t)Q_2(t) = Q_1(0) + Q_2(0) + \int_0^t Q_1(s-) dQ_2(s) + \int_0^t Q_2(s-) dQ_1(s) + \sum_{0 < s \leq t} \Delta Q_1(s) \Delta Q_2(s), \quad (46)$$

სადაც $\Delta Q_i(s) = Q_i(s) - Q_i(s-)$, $(i=1, 2)$.

დავუშვათ, რომ საწყის მიმენტში სისტემაში არ არსებობს მოთხოვნები, ანუ $Q_1(0) = Q_2(0)$. ამის შემდეგ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ მოთხოვნათა შემოსვლის პროცესი არის პუასონის ტიპის, მაშინ ნებისმიერი $t \geq 0$, გვექნება

$$P\left(\sum_{0 < s \leq t} \Delta Q_1(s) \Delta Q_2(s) = 0\right) = 1. \quad (47)$$

რომელიც (46)-ის გათვალისწინებით ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$Q_1(t)Q_2(t) = \int_0^t Q_1(s-)dQ_2(s) + \int_0^t Q_2(s-)dQ_1(s). \quad (48)$$

თუ გავითვალისწინებთ (43) და (44), მაშინ (48)-დან ვღებულობთ:

$$\begin{aligned} Q_1(t)Q_2(t) &= \int_0^t Q_1(s-)[1 - Q_2(s-)]dN_s^1 + \int_0^t Q_2(s-)[1 - Q_1(s-)] \times \\ &\times [2 - \sum_{i=1}^2 Q_i(s-)]dN_s^1 - 2 \int_0^t Q_1(s-)Q_2(s-)dN_s^1 = \\ &= \int_0^t [Q_1(s-) - 2Q_1(s-) + Q_2(s-)]dN_s^1 - 2 \int_0^t Q_1(s-)Q_2(s-)dN_s^2. \end{aligned} \quad (49)$$

აღვნიშნოთ

$$E[Q_1(t)Q_2(t)] = \rho_{12}(t), \quad (50)$$

$$EQ_1(t) = \pi_1(t), \quad EQ_2(t) = \pi_2(t). \quad (51)$$

(აქ $\pi_1(t)$ და $\pi_2(t)$ იმის ალბათობებია, რომ დროის t მომენტში ყველა არხი დაკავებულია).

დავუშვათ, რომ

$$A_t^1 = \int_0^t \lambda_s ds, \quad A_t^2 = \int_0^t \mu_s ds,$$

სადაც λ_s და μ_s არის დეტერმინირებული ფუნქციები. თუ (49)-ში ჩავსვამთ მათემატიკურ მოლოდინს, მივიღებთ

$$\rho_{12}(t) = \int_0^t \lambda_s [\pi_1(s-) + \pi_2(s-)] ds - 2 \int_0^t \rho_{12}(s-) (\lambda_s + \mu_s) ds. \quad (52)$$

$\pi_1(t)$ და $\pi_2(t)$ ალბათობები შეიძლება განისაზღვროს (43) და (44)-დან:

$$\begin{aligned} \pi_1(t) &= 2 \int_0^t \lambda_s ds - 2 \int_0^t \pi_1(s-) \lambda_s ds - \int_0^t \pi_2(s-) \lambda_s ds + \\ &+ \int_0^t \rho_{12}(s-) \lambda_s ds - \int_0^t \pi_1(s-) \mu_s ds; \end{aligned} \quad (53)$$

$$\pi_2(t) = \int_0^t \pi_1(s-) \lambda_s ds - \int_0^t \rho_{12}(s-) \lambda_s ds - \int_0^t \pi_2(s-) \mu_s ds. \quad (54)$$

აღვნიშნოთ $\pi_1(t) + \pi_2(t) = \alpha(t)$. მაშინ, შევკრიბოთ (53) და (54), გვექნება:

$$\alpha(t) = 2 \int_0^t \lambda_s ds - \int_0^t \alpha(s) (\lambda_s + \mu_s) ds, \quad (55)$$

შესაბამისად ვღებულობთ:

$$\alpha'(t) = 2\lambda_t - \alpha(t)(\lambda_t + \mu_t), \quad \alpha(0) = 0. \quad (56)$$

(56)-ის ამოხსნის შედეგად, გვაქვს:

$$\alpha(t) = 2 \int_0^t \lambda_s e^{\int_0^s (\lambda_u + \mu_u) du} e^{-\int_0^t (\lambda_s + \mu_s) ds} ds. \quad (57)$$

(52)-დან ცხადია, რომ

$$\rho_{12}'(t) = \alpha(t)\lambda_t - 2(\lambda_t + \mu_t)\rho_{12}(t), \quad \rho_{12}(0) = 0. \quad (58)$$

აღვნიშნოთ

$$\xi_t = e^{\int_0^t (\lambda_s + \mu_s) ds}$$

(58) განტოლების ამოხსნა გვაძლევს:

$$\rho_{12}(t) = \xi_t^{-2} \int_0^t \alpha(s) \lambda_s \xi_s^2 ds. \quad (59)$$

(42)-დან, მოცემული ამოცანის პირობებში გვექნება:

$$EU_t = E \int_0^t Q_1(s-) Q_2(s-) dN_s^1 = E \int_0^t Q_1(s-) Q_2(s-) \lambda_s ds.$$

შესაბამისად, $[0, t]$ დროის შუალედში უარების მათემატიკური მოლოდინისათვის საბოლოოდ ვღებულობთ ფორმულას:

$$EU_t = 2 \int_0^t \lambda_s \xi_s^{-2} \left\{ \int_0^s \lambda_u \xi_u e^{\int_0^u (\lambda_v + \mu_v) dv} du \right\} ds. \quad (60)$$

(55)-ში $\alpha(t)$ არის იმის ალბათობა, რომ ერთ-ერთი არხი თავისუფალია, ხოლო ρ_{12} არის უარის ალბათობა. აღსანიშნავია, რომ დასმულ ამოცანაში, თუ გავითვალისწინებთ სისტემაში სტაციონარულ პირობებს, როდესაც $\lambda_s = \lambda$ და $\mu_s = \mu$, ფორმულა (59) დადის ერლანგის ფორმულაზე [43].

ტრაფიკის არსებული არხებით მომსახურების პროცესი აღიწერება (33) განტოლებებით და ამ შემთხვევისათვის სამართლიანია მტკიცება, რომ:

$$EU_t = \int_0^t I_n(s) \lambda_s ds,$$

აქ, შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი რეკურენტული განტოლებების სისტემებით:

$$I_n(t) = \frac{n-k+1}{\xi_t^k} \int_0^t I_{k-1}(s) \lambda_s \xi_s^{k+1} ds,$$

$1 \leq k \leq n$ და $I_0 \equiv 1$.

აღვნიშნოთ, რომ

$$I_1(t) = E[Q_1(t) + Q_2(t) + \dots + Q_n(t)]$$

აგრეთვე

$$I_k(t) = \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n} \rho_{i_1 i_2 \dots i_k},$$

სადაც

$$\rho_{i_1 i_2 \dots i_k}(t) = E[Q_{i_1}(t) \dots Q_{i_k}(t)].$$

ლიტერატურა

1. Нетес В.А., Трубникова Н.В. От интеллектуальных сетей к сетям следующего поколения. Электросвязь, 5, 2002.
2. Kuzma J. Introduction to the International Softswitch Consortium and Analyst Overview // ISC Educational Seminar. - Burlingame. 2001, January 22.
3. ETSI/NGN - SG01(01)02 r2. Sophia Antipolis. - 2001, May 21.
4. EURESCOM Project P1109. Next Generation Networks: The services offering standpoint. - 2001.
5. <http://www.ngni.org>
6. Bjorkman N., Jiang Y., Lundberg T. et al. The movement from monoliths to component-based network elements // IEEE Communications Magazine. - 2001, January.
7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. М., Высшая школа, 2000.
8. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник М., ЗАО "МАКВИС", 1998.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М., Высшая школа, 2000.
10. Уайндер С. Справочник по технологиям и средствам связи. М., Мир, 2000.
11. Кульгин М. Технология корпоративных сетей. Энциклопедия - СПб., Питер, 1999.
12. Любимов А.Е. Магистральные технологии передачи данных и эффективное использование каналов связи. Документальная электросвязь, 3, 2000.
13. Любимов А.Е. Сделаем сеть рентабельной. Оценка эффективности сетей передачи данных операторов инфотелекоммуникации - Мир связи. сопнест 9, 2000.
14. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. М., Радио и связь, 2000.
15. Валов С.Г., Гольшко А.В. Инфокоммуникационные сети будущего: "Контентология" услуг. Вестник связи, 3, 2003.
16. Валов С.Г., Гольшко А.В. Инфокоммуникационные сети будущего: архитектура сети. Вестник связи, 7, 2003.
17. Шварцман В.О. Выбор технологии передачи и коммутации в мультисервисных сетях по основе оптических кабелей. "Электросвязь", 2003, 8.
18. Нейман В.И. К дискуссии о коммутации. 2004, 1.

19. Буассо М., Демант М., Мьюне Ж. Введение в технологию АТМ, М., Радио и связь, 1997.
20. Харитонов В.Х. Мультисервисная сеть и методы коммутации. "Электросвязь", 2004, 1.
21. Communications Today. 2001, vol.7. №198 (<http://www.Telecom Web.com>).
22. Нетес В.А. Системы передачи от ИКМ до WDM. "Вестник связи", 2003, №1.
23. Нетес В.А. Мультисервисные сети: сумма технологий. "Электросвязь", 2004, 9.
24. Шварцман В.О. Выбор технологии передачи и коммутации в мультисервисных сетях на основе оптических кабелей. "Электросвязь", 2004, 1.
25. Шварцман В.О. Эволюция технологий обеспечения высокого качества услуг. "Вестник связи", 7, 2004.
26. ITU, World Telecommunication Indicators Database, 7 th Edition, 2003.
27. Teletraffic Engineering in the Internet Era. Proceedings of the 17 th International Teletraffic Congress, ITU-17, Salvador-da-Baya, Brazil, 24-27 September 2001. Amsterdam: Elsevier, 2001, Vol. 4a, 4b.
28. Providing Quality of Service in Heterogeneous Environments. Proceedings of the 18 th International Teletraffic Congress, ITU-18, Berlin, Germany, 31 August - 5 September 2003. Amsterdam: Elsevier, 2003, Vol. 5a, 5b.
29. Нейман В.И. Тенденции развития телетрафика. "Электросвязь", №6, 2004.
30. ITU and ITC-18 Workshop for Developing Countries at ITC-18. Berlin, Germany, 2003.
31. Байцер Б. Микроанализ производительности вычислительных систем. М.: Радио и связь, 1983.- 360 с.
32. Барсук В.А., Губин Н.М., Батый А.Р. Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении в отрасли связи. М.: Р и С, 1984.-264 с.
33. Башарин Г.П., Бочарев П.П., Коган Я.А. Анализ очередей в вычислительных сетях. М.: Наука, 1989.- 336 с.
34. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.: Энергоатомиздат, 1990.- 253 с.
35. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М.: Сов. радио, 1973.- 439 с.
36. G.Arsenishvili. Diffusional approximation of virtual times expectation. Kybernetika, 1, 1991.
37. Arsenishvili G.L. On queueing systems with variable intensities (Martingale approach), Stochastics, v.15, 2, (149-157), 1985.
38. Коплатадзе М.Р., Купатадзе Т.Г. Вероятностный анализ некоторых специфических моделей массового обслуживания. Georgian Engineering News, 3, 2003.
39. Г.Л.Арсенишвили. Однострочная система очередей с интенсивностью ввода, зависящей от длины очереди. Бюл. Академии Наук ГССР, 76, 2, 1974.

40. Девис Д.У. Контроль перегрузки в сетях с коммутацией пакетов. Материалы 2-го Симп. ACM-IEEE. Optimiz. Data Commun: Syst.Palo Alto, CA, Oct.,1971.
41. К.Н.Ф. Meyer. Wartesysteme mit variabler Bearbeitungsrate, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New-York, 1971.
42. Palm, C. Intensitatsschwankungen im fersprechverkehr. Ericson technics, 44, 1943.
43. Potter, R.M. Explicit formulae for alt overflow traffic moments of the Kosten and brockmeyer systems with renewal input. Austral.Telecomm.Res.13,(39-49), 1980.