



კომპიუტერული ქსელის დაპროექტება ლოგიკურ-  
ალბათური მეთოდების გამოყენებით

ავტორი: სულხან სულხანიშვილი

ხელმძღვანელი: სერგო ცირამუა

თბილისი

2015

*შესავალი*

კომპიუტერულ ქსელებს უმნიშვნელოვანესი როლი უჭირავს ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების სფეროში. კომპიუტერული ქსელი ზოგადად ნებისმიერი თანამედროვე, თუნდაც მცირე მასშტაბის ორგანიზაციის აუცილებელი კომპონენტია. გლობალიზაციისა პირობებში ინფორმაციის გავრცელება და მისი მოპოვება დამოკიდებულია კომპიუტერულ ქსელებში ნებისმიერი სახის ინფორმაციის გადაცემის სისწრაფეზე, საიმედოობაზე და სერვისის ხარისხზე. კომპიუტერული ქსელის გამართულად მუშაობაზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ნებისმიერი მცირე, საშუალო თუ დიდი მასშტაბის ორგანიზაციების, მათ შორის სასწავლო დაწესებულებებისა და უნივერსიტეტების წარმატებული ფუნქციონირება. ასევე კომპიუტერული ქსელების ფუნქციონირებისას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება ინფორმაციის დაცულობას და უსაფრთხოებას. ქსელური ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარების პირობებში მნიშვნელოვანია ამ ტექნოლოგიების როგორც თეორიული, ასევე პრაქტიკული საკითხების გადაწყვეტა. ხშირ შემთხვევაში ორგანიზაციის განვითარებასთან, გაფართოებასთან ერთად დინამიურად ვითარდება და იზრდება კომპიუტერული ქსელიც. კომპიუტერული ქსელი

დინამიურია, იგი განვითარებადია დროსა და სივრცეში. დროში განვითარება გულისხმობს ახალი ქსელური ტექნოლოგიების დანერგვას, სივრცეში განვითარება კი - კომპიუტერული ქსელის ტერიტორიულ გაფართოებას და შესაბამისად მასში შემავალი კომპონენტების რაოდენობის გაზრდას. ასეთ ვითარებაში აქტუალურია კომპიუტერული ქსელის დაგეგმარება განხორციელდეს მისი ეფექტიანობის, საიმედოობისა და უსაფრთხოების გათვალისწინებით, რისი უზრუნველყოფაც შესაძლებელია მათემატიკური მოდელირებისა და ზუსტი საინჟინრო გამოთვლების საფუძველზე. შესაბამისად ნაშრომში შემოთავაზებულია კომპიუტერული ქსელის განვითარების დინამიკის ანალიზი საქართველოს უნივერსიტეტის მაგალითზე და მაღალი ეფექტიანობის (სწრაფქმედების, საიმედოობის, უსაფრთხოების, სერვისის ხარისხის) მათემატიკური მოდელირებისა და საინჟინრო გამოთვლებზე დაფუძნებული საუნივერსიტეტო კომპიუტერული ქსელის დაპროექტების საკითხები, რაც მეტად აქტუალურია თანამედროვე ქსელური ტექნოლოგიებში.

### *ნაშრომის მიზანი*

ნაშრომში ჩატარებული კვლევის მიზანია კომპიუტერული ქსელის დაპროექტების მათემატიკურ მოდელირებაზე დაფუძნებული მეთოდოლოგიის შემუშავება, ქსელის სტრუქტურული საიმედოობის შეფასების ლოგიკურ-ალბათური მოდელირება და შეფასება.

### *ამოცანები*

1. კომპიუტერული ქსელების მიმოხილვა, ტოპოლოგიებისა და პროტოკოლების განხილვა, შედარებითი ანალიზის ჩატარება
2. საქართველოს უნივერსიტეტის კომპიუტერული ქსელის განვითარების დინამიკის განხილვა და ანალიზი
3. კომპიუტერული ქსელის ეფექტიანობის (საიმედოობის, უსაფრთხოების, სერვისის ხარისხის) მაჩვენებლების განსაზღვრა
4. კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურული საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასების მეთოდოლოგიის დამუშავება ლოგიკურ-ალბათური მეთოდების ბაზაზე

5. კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურული საიმედოობის ლოგიკურ-ალბათური მოდელირება
6. კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურული საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასება ლოგიკურ-ალბათური მეთოდების გამოყენებით და ქსელის ოპტიმიზაცია.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს დინამიურად განვითარებადი კომპიუტერული ქსელის შედარებითი დროითი და სივრცითი ანალიზის მეთოდოლოგიის შემუშავება, ასევე კომპიუტერული ქსელის დაპროექტების ლოგიკურ-ალბათური მოდელების შემუშავება და რაოდენობრივი შეფასების მეთოდოლოგიის შემუშავება. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს საქართველოს უნივერსიტეტის დინამიურად განვითარებადი კომპიუტერული ქსელი, მისი ეფექტიანობის პარამეტრების ანალიზი დროსა და სივრცეში.

*ნაშრომის თეორიული და პრაქტიკული ღირებულება*

1. დამუშავებულია კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურული საიმედოობის ლოგიკურ-ალბათური მოდელები
2. შესრულებულია საქართველოს უნივერსიტეტის კომპიუტერული ქსელის ფრაგმენტის საიმედოობის

რაოდენობრივი შეფასება ლოგიკურ-ალბათური მოდელების გამოყენებით და ჩატარებული მიღებული შედეგების ანალიზი

3. დამუშავებულია კომპიუტერული ქსელის თითოეული კვანძის „წონის“, „მნიშვნელობისა“ და „წვლილის“ რაოდენობრივი შეფასების მეთოდოლოგია ლოგიკურ-ალბათური მეთოდების ბაზაზე
4. ჩატარებულია საქართველოს უნივერსიტეტის ქსელის ფრაგმენტის მაგალითზე თითოეული კვანძის „წონის“, „მნიშვნელობისა“ და „წვლილის“ რაოდენობრივი შეფასება და შესაბამისი ანალიზი.
5. დასაბუთებულია, რომ მხოლოდ მათემატიკური მოდელების (ლოგიკურ-ალბათური მოდელების) საფუძველზეა შესაძლებელი მაღალი ეფექტიანობის (სტრუქტურული საიმედოობის) და ოპტიმალური ქსელის დაპროექტება.

*სადისერტაციო ნაშრომში განხილული საკითხები:*

*თავი 1. კომპიუტერული ქსელების მიმოხილვა და მათი ტოპოლოგია - “ტოპოლოგია” ანუ “ქსელების ტოპოლოგია” ნიშნავს კომპიუტერების, კაბელების და სხვა კომპონენტების*

ფიზიკურ განლაგებას. ტოპოლოგიის არჩევა გავლენას ახდენს საჭირო ქსელური მოწყობილობების შემადგენლობაზე, ქსელის გაფართოების შესაძლებლობაზე და ა.შ. კომპიუტერების ქსელის შექმნის პროცესში ერთ-ერთ პრობლემას წარმოადგენს დამისამართების პრობლემა. ინფორმაციის გადაცემის გარემო ესაა კომპიუტერების ერთმანეთთან დაკავშირების საშუალებაა, რომლითაც ხდება ინფორმაციის გაცლა. კომპიუტერულ ქსელებში გადაცემის გარემოდ გამოყენებულია კაბელები და უგამტარო კავშირები.

თავი 2. ღია სისტემების ურთიერთქმედების მოდელები (OSI) - პროტოკოლი ესაა შეთანხმება ორ ურთიერთდაკავშირებულ ობიექტს შორის, ამ შემთხვევაში ქსელში ჩართულ ორ კომპიუტერს შორის. ქსელში მუშაობა ესაა მონაცემთა გადაცემა ერთი კომპიუტერიდან მეორეზე. OSI -ს მოდელების ყველა ფუნქცია მიეკუთვნება შემდეგ ორ ჯგუფს: ქსელის ტექნიკური რეალიზაციის ფუნქციებს ან დანართებთან მუშაობაზე ორიენტირებულ ფუნქციებს.

თავი 3. საქართველოს უნივერსიტეტის კომპიუტერული ქსელის განვითარების დინამიკა - საქართველოს

უნივერსიტეტში სტუდენტების მატებასთან ერთად ყოველწლიურად ვითარდებოდა კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურა. მაგალითისთვის, 2005 წელს იყო მცირე ზომის ქსელი, სადაც მომხმარებლის რაოდენობა არ აღემატებოდა 40 მომხმარებელს, დღეისათვის კი მომხმარებლების რაოდენობა აჭარბებს 600-ს. თანმიმდევრობით არის განხილული საქართველოს უნივერსიტეტის კომპიუტერული ქსელის ტოპოლოგიის განვითარება და მისი უსაფრთხოების უზრუნველყოფის საშუალებები.

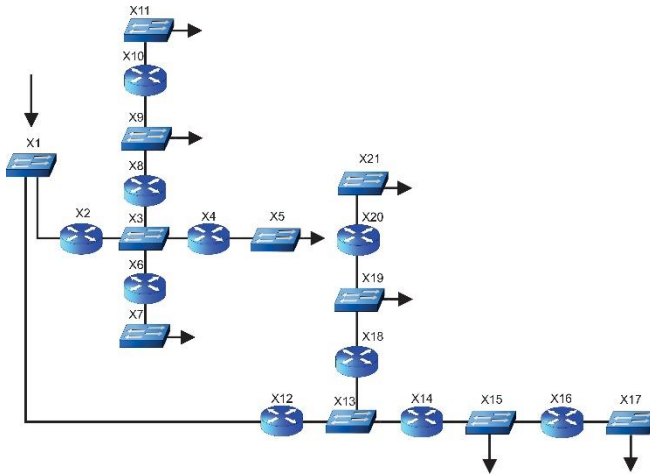
თავი 4. კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურის საიმედოობისა და უსაფრთხოების ლოგიკურ-ალბათური მოდელირება - ლოგიკურ-ალბათური მეთოდი (ლამ) ეწოდება სისტემების ეფექტიანობის (საიმედოობის, სიცოცხლისუნარიანობის, უსაფრთხოების, რისკების) გაანგარიშების მეთოდს, როდესაც სისტემის სტრუქტურა აღიწერება მათემატიკური ლოგიკის საშუალებით, ხოლო საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასება წარმოებს ალბათობის თეორიის გამოყენებით. რთული სისტემების დაპროექტების საწყის ეტაპზე ძირითად ამოცანას წარმოადგენს რაციონალური სტრუქტურისა და ფუნქციონირების ალგორითმის განსაზღვრა. ამ ორივე



ამოცანის გადაჭრა ხორციელდება კონსტრუქტორების მიერ მათი გამოცდილებისა და ინტუიციის საფუძველზე, მაგრამ როგორც წესი გამოცდილებაზე და ინტუიციაზე დაყრდნობით ვერ ხერხდება საუკეთესო ვარიანტის მიღება, ვინაიდან ამოცანას უამრავი ამოხსნა გააჩნია. ასეთ შემთხვევაში წარმოებს სხვადასხვა ვარიანტების განხილვა და შედარებითი ანალიზის ჩატარება შედარებით უკეთესი ვარიანტის შერჩევის მიზნით. ილუსტრაციაზე მოცემული სისტემის ქმედითუნარიანობის პირობას, რომელიც აღწერილია ლოგიკურ-ალგებრული ფუნქციების, კერძოდ ფუნქციონირების უმოკლესი გზების დახმარებით მატრიცული ფორმით, აქვს შემდეგი სახე:

$$y(x_1, \dots, x_{21}) = \begin{vmatrix} x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 \\ x_1 x_2 x_3 x_6 x_7 \\ x_1 x_2 x_3 x_8 x_9 \\ x_1 x_2 x_3 x_8 x_9 x_{10} x_{11} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} x_{16} x_{17} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \Pi_3 \\ \Pi_4 \\ \Pi_5 \\ \Pi_6 \\ \Pi_7 \\ \Pi_8 \end{vmatrix}$$

კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურული სქემა:



გამოსახულებებიდან თვალნათლივ ჩანს, რომ აღნიშნული სისტემა სრული ფუნქციონირების მდგომარეობაშია, როცა გამართულია ფუნქციონირების ყველა გზა. თუ ერთ-ერთი გზა გამოვა მწყობრიდან სისტემა გადადის ნაწილობრივი ფუნქციონირების მდგომარეობაში, როცა არცერთი გზა არ ფუნქციონირებს სისტემა სრული მტყუნების მდგომარეობაში. კომპიუტერული ქსელის საიმედოობისა და უსაფრთხოების ანალიზისა და შეფასებისას წარმოქმნილი უამრავი საკითხების გამოკვლევა და გადაჭრა შესაძლებელია ლოგიკურ-ალბათური მოდელების გამოყენებით.

ფუნქციონირების უმოკლესი გზების დახმარებით  
მატრიცული ფორმით აღნიშნული სისტემის  
ქმედითუნარიანობის პირობას აქვს შემდეგი სახე:

$$y(x_1, \dots, x_{21}) = \begin{vmatrix} x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 \\ x_1 x_2 x_3 x_6 x_7 \\ x_1 x_2 x_3 x_8 x_9 \\ x_1 x_2 x_3 x_8 x_9 x_{10} x_{11} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} x_{16} x_{17} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} \\ x_1 x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} \end{vmatrix} = x_1 \begin{vmatrix} x_2 x_3 x_4 x_5 \\ x_2 x_3 x_6 x_7 \\ x_2 x_3 x_8 x_9 \\ x_2 x_3 x_8 x_9 x_{10} x_{11} \\ x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} \\ x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} x_{16} x_{17} \\ x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} \\ x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} \end{vmatrix}$$

სისტემის ქმედითუნარიანობის

მიღებული ფუნქციის ცალკეული წევრი გადავნიშნოთ  
შემდეგი სახით.

$$K_1 = x_2 x_3 x_4 x_5$$

$$K_2 = x_2 x_3 x_6 x_7$$

$$K_3 = x_2 x_3 x_8 x_9$$

$$K_4 = x_2 x_3 x_8 x_9 x_{10} x_{11}$$

$$K_5 = x_{12} x_{13} x_{14} x_{15}$$

$$K_6 = x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} x_{16} x_{17}$$

$$K_7 = x_{12} x_{13} x_{18} x_{19}$$

$$K_8 = x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21}$$

$$y(x_1, \dots, x_{21}) = x_1 \begin{matrix} x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \cdot x_{16} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \cdot x_{16} \cdot x_{17} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \cdot x_{16} \cdot x_{17} \cdot x_{18} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \cdot x_{16} \cdot x_{17} \cdot x_{18} \cdot x_{19} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \cdot x_{16} \cdot x_{17} \cdot x_{18} \cdot x_{19} \cdot x_{20} \\ x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14} \cdot x_{15} \cdot x_{16} \cdot x_{17} \cdot x_{18} \cdot x_{19} \cdot x_{20} \cdot x_{21} \end{matrix}$$

როგორც ჩანს გამოსახულების ყველა წევრი წვილ-წყვილად ერთოგონალურია. ერთოგონალური დიზუნქციის ნორმალური ფორმით წარმოდგენილი ნებისმიერი ლოგიკურ-ალბათური ფუნქციის ჭეშმარიტობის ალბათობა ტოლია ამ ფუნქციის ყველა ერთოგონალური წევრის ჭეშმარიტობის ალბათობების ჯამის. ფორმულის თანახმად, განხილული სისტემისათვის შეგვიძლია გამოვთვალოთ

უმტყუნო მუშაობის ალბათობა. ყველა ელემენტის  
ერთნაირი საიმედოობის შემთხვევაში სისტემის უმტყუნო  
მუშაობის ალბათობა ტოლი იქნება

$$\begin{aligned}
 P\{y=1\} &= R_c = R(R^4 + R^4Q + R^5Q + R^4Q^2 + R^5Q^2 + R^5Q^2 + R^6Q^2 + R^4Q + \\
 &+ R^5Q + R^6Q^3 + R^7Q^3 + R^7Q^3 + R^8Q^3 + R^7Q^3 + R^8Q^3 + R^8Q^3 + R^9Q^3 + \\
 &+ R^4Q^2 + R^5Q^2 + R^6Q^4 + R^7Q^4 + R^7Q^4 + R^8Q^4 + R^7Q^4 + R^8Q^4 + R^9Q^4 + \\
 &+ R^5Q^2 + R^6Q^2 + R^7Q^4 + R^8Q^4 + R^8Q^4 + R^9Q^4 + R^9Q^4 + R^8Q^4 + R^9Q^4 + R^{10}Q^4) = \\
 &= R(R^4 + 2R^4Q + 2R^5Q + 2R^4Q^2 + 4R^5Q^2 + 2R^6Q^2 + R^6Q^3 + 3R^7Q^3 + 3R^8Q^3 + \\
 &+ R^9Q^3 + R^6Q^4 + 4R^7Q^4 + 6R^8Q^4 + 4R^9Q^4 + R^{10}Q^4) = R(R^4 + 2R^4(1-R) + \\
 &+ 2R^5(1-R) + 2R^4(1-R)^2 + 4R^5(1-R)^2 + 2R^6(1-R)^2 + R^6(1-R)^3 + \\
 &+ 3R^7(1-R)^3 + 3R^8(1-R)^3 + R^9(1-R)^3 + R^6(1-R)^4 + 4R^7(1-R)^4 + \\
 &+ 6R^8(1-R)^4 + 4R^9(1-R)^4 + R^{10}(1-R)^4)
 \end{aligned}$$

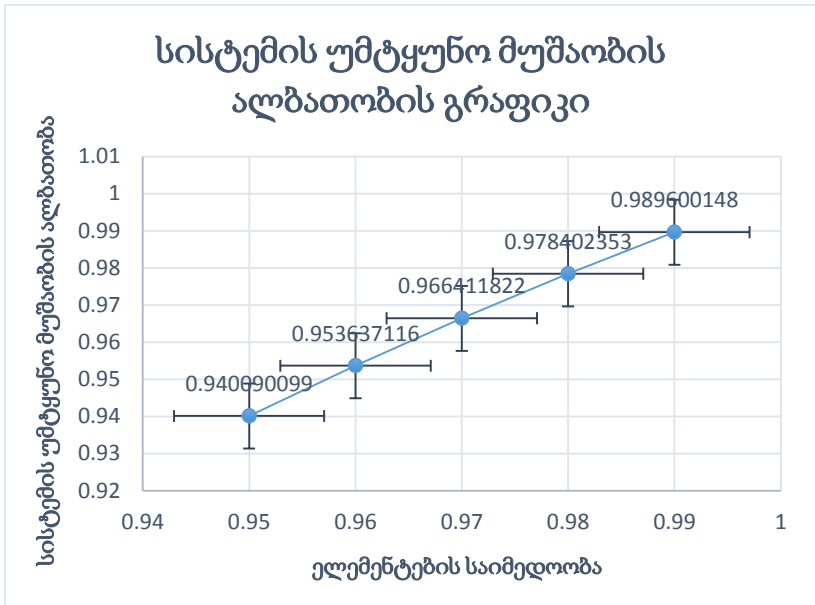
$$P\{y=1\} = R_c = 5R^4 - 4R^6 - 5R^8 + 9R^{10} - 5R^{12} + R^{14}$$

სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობები  
მნიშვნელობები, სისტემაში შემავალი ელემენტების  
საიმედოობის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

	$R = 0.95$	$R = 0.96$	$R = 0.97$	$R = 0.98$	$R = 0.99$
$P\{Y=1\}$	0.940090098752321	0.9536371160895537	0.966411822204292	0.9784023534554174	0.9896001484287327

ცხრილის საფუძველზე აგებულია სისტემის უმტყუნო  
მუშაობის ალბათობის გრაფიკი, რომელიც მოცემულია  
გრაფიკზე.

სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობის გრაფიკი:



როგორც გრაფიკიდან ჩანს, სისტემის ქმედითუნარიანობის მაჩვენებელი დამოკიდებულია როგორც ცალკეული ელემენტების უმტყუნო მუშაობის ალბათობაზე, ასევე სისტემის სტრუქტურაზე: რაც უფრო მაღალია ელემენტების უმტყუნო მუშაობის ალბათობები, მით უფრო მაღალია სისტემის ქმედითუნარიანობა.ორთოგონალიზაციის ალგორითმი საკმაოდ შრომატევადია ხელით გამოთვლების დროს, მაგრამ თუ კომპიუტერის საშუალებით ვაწარმოებთ უმტყუნო მუშაობის ალბათობის რაოდენობრივ შეფასებას,

მაშინ ორთოგონალიზაციის მეთოდი მნიშვნელოვნად მარტივი და ეფექტურია დიდი განზომილების ამოცანების ამოხსნისათვის. განხილული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ სხვადასხვა სტრუქტურების შეფასება და ანალიზი, რაც საბოლოოდ სისტემის გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა.

უნდა აღინიშნოს, რომ საინფორმაციო-საკომუნიკაციო სისტემის პროექტირებისას ვერ ხერხდება სისტემის სტრუქტურის სრულყოფილების თვალსაზრისით ერთმნიშვნელოვანი პასუხის მოძებნა, ყოველთვის არსებობს სისტემის აგების რამოდენიმე ალტერნატიული ვარიანტი, ამასთანავე ყოველი მათგანი უშვებს მოდიფიცირების შესაძლებლობას. ამრიგად, ყველაზე მეტად რაციონალური სტრუქტურის ამორჩევა ფაქტიურად წარმოებს შერჩევისა და სხვადასხვა ვარიანტების მიმდევრობითი შედარების გზით. სისტემის სტრუქტურის სრულყოფილების თვალსაზრისით, უნდა შეფასდეს სისტემის სტრუქტურის შესაძლო გადაწყობათა ვარიანტები და მათ შორის შეირჩეს ყველაზე რაციონალური სტრუქტურის მქონე სისტემა.

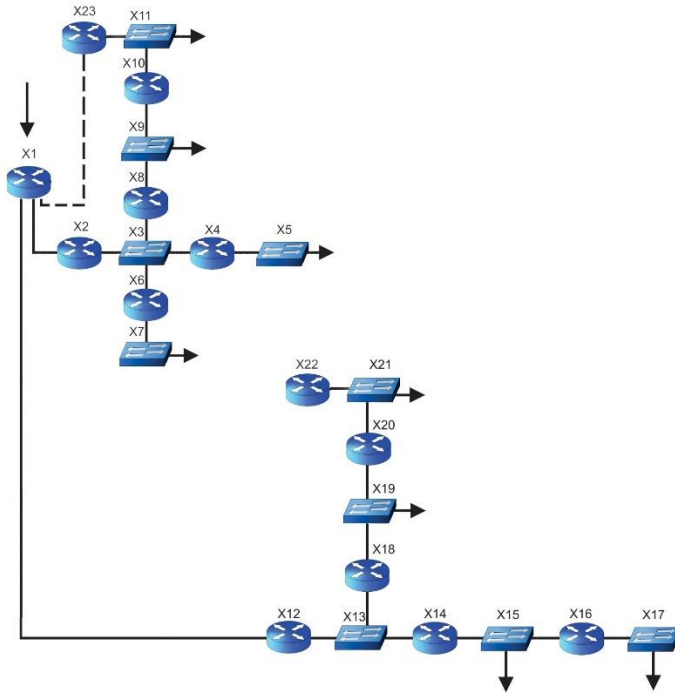
როგორც ილუსტრაცია N 29-დან ჩანს მე-13, მე-19 და 21-ე კვანძების ფუნქციონირება მთლიანად დამოკიდებულია მე-12 კვანძის არხის მდგომარეობაზე და მისი დაზიანება იწვევს კვანძის გაწყვეტას აღნიშნულ კვანძებთან. ამ

პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია სარეზერვო არხის ( $X_{22}$ ) დამატებით ცენტრალურ (პირველ) და 21-ე კავშს შორის, მაშინ მე-12 კავშირის არხის დაზიანება არ გამოიწვევს დანარჩენი (მე-13, მე-19 და 21-ე) კვანძების ფუნქციონირების დარღვევას, ვინაიდან ინფორმაციის გადაცემა შესაძლებელი გახდება სარეზერვო არხის საშუალებით, რომლის ჩართვაც საჭიროების შემთხვევაში მოხდება ავტომატურად.

ილუსტრაციაზე მოცემულია სისტემას სტრუქტურული სქემა, სადაც გამოყენებულია ორი სარეზერვო არხი  $X_{22}$  და  $X_{23}$  ლოგიკურ-ალბათური მეთოდის გამოყენებით მოვახდინოთ სისტემის საიმედოობის შედარებითი ანალიზი და შეფასება რეზერვორების არხების გამოყენების შემთხვევაში.



ილუსტრაცია სტრუქტურული სქემა სარეზერვო  $X_{22}$  და  $X_{23}$  არხებით.



როგორც აღინიშნა, სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობის რაოდენობრივი შეფასებისათვის, თავდაპირველად ლოგიკურ-ალბათული მოდელის გამოყენებით უნდა აღიწეროს სისტემის ქმედითუნარიანობის პირობა, შემდეგ განვსაზღვროთ

მიღებული ფუნქციის ორთოგონალური დიზიუნქციის ნორმალური ფორმა, რის შემდეგაც შეგვიძლია სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობის გამოთვლა, რომელიც ამ ფუნქციის ყველა ორთოგონალური წევრების ჭეშმარიტობის ალბათობების ჯამის ტოლია.

ილუსტრაცია N 30-ზე წარმოდგენილი სისტემების ქმედითუნარიანობის პირობას, ფუნქციონირების უმოკლესი გზების საშუალებით, მატრიცული ფორმით აქვს შემდეგი სახე:

$$y(x_1, \dots, x_{21}) = x_1 \begin{vmatrix} x_2 x_3 x_4 x_5 \\ x_2 x_3 x_6 x_7 \\ x_2 x_3 x_8 x_9 \\ x_2 x_3 x_8 x_9 x_{10} x_{11} \\ x_{22} x_{11} \\ x_{23} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_{22} x_{11} x_{10} x_9 x_8 x_7 x_6 x_5 \\ x_{23} x_{11} x_{10} x_9 x_8 x_7 x_6 x_7 \\ x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} \\ x_{12} x_{13} x_{14} x_{15} x_{16} x_{17} \\ x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} \\ x_{12} x_{13} x_{18} x_{19} x_{20} x_{21} \\ x_{22} x_{21} \\ x_{22} x_{21} x_{20} x_{19} \\ x_{22} x_{21} x_{20} x_{19} x_{18} x_{17} x_{14} x_{15} \\ x_{22} x_{21} x_{20} x_{19} x_{18} x_{17} x_{14} x_{15} x_{16} x_{17} \end{vmatrix}$$

გარდავექმნათ სისტემების ქმედითუნარიანობის პირობის აღწერი გამოსახულება ორთოგონალურ დიზიუნქციურ ნორმალურ ფორმად, ნაშრომში აღწერილი მეთოდის გამოყენებით. ორთოგონალური დიზიუნქციის ნორმალური ფორმით წარმოდგენილი ნებისმიერი ლოგიკურ-ალბათური

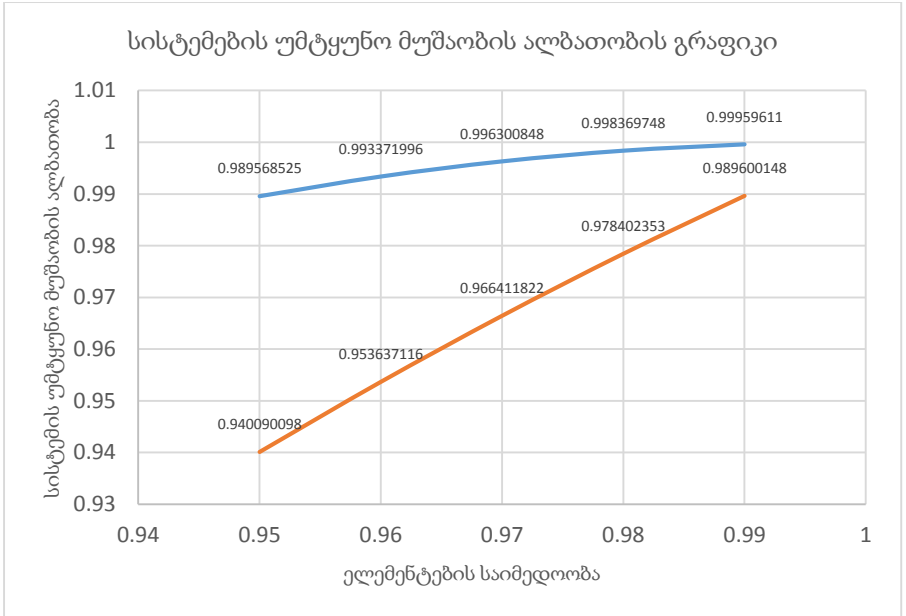
ფუნქციის ჭეშმარიტობის ალბათობა ტოლია ამ ფუნქციის ყველა ორთოგონალური წევრის ჭეშმარიტობის ალბათობების ჯამის. საბოლოოდ ყველა ელემენტის ერთნაირი საიმედოობის შემთხვევაში განხილული სისტემების უმტყუნო მუშაობის ალბათობა ტოლი იქნება:

$$P\{y = 1\} = R_c = 5R^5 - 6R^7 + 2R^8 + 4R^9 - 5R^{10} - 5R^{11} + 4R^{12} + 4R^{13} - R^{14} - R^{15}$$

ცხრილში მოცემულია სისტემის უმტყუნო მუშაობის (საიმედოობის) ალბათობის რიცხვითი მნიშვნელობები, სისტემაში შემავალი ელემენტების საიმედოობის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. ცხრილში სისტემის უმტყუნო მუშაობის (საიმედოობის) ალბათობის რიცხვითი მნიშვნელობების საფუძველზე აგებულია უმტყუნო მუშაობის ალბათობის გრაფიკი სისტემის ორივე ვარიანტისათვის.

სისტემები	$P = 0,95$	$P = 0,96$	$P = 0,97$	$P = 0,98$	$P = 0,99$
რეზერვირებით	0.989568525	0.993371996	0.996300848	0.998369748	0.99959611
საბაზო	0.940090098	0.953637116	0.966411822	0.978402353	0.989600148

გრაფიკი - სისტემების უმტყუნო მუშაობის ალბათობის - საბაზო ვარიანტი, რეზერვირებით.



როგორც გრაფიკიდან ჩანს და როგორც მოსალოდნელი იყო, სისტემაში სარეზერვო კავშირის არხების დამატებამ უზრუნველყო სისტემის საიმედოობის მნიშვნელოვანი ამაღლება.

*დასკვნა*

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევის შედეგად მიღებულია შემდეგი თეორიული და პრაქტიკული შედეგები:

6. დასაბუთებულია, რომ კომპიუტერული ქსელი მიეკუთვნება რთული სტრუქტურის მქონე სისტემებს, რომელთა დაპროექტების დროს აუცილებელია განხორციელდეს სისტემის მათემატიკური, კერძოდ კი ლოგიკურ-ალბათური მოდელირება
7. განხილულია საქართველოს უნივერსიტეტის კომპიუტერული ქსელის დროითი და სივრცული განვითარების დინამიკა
8. დამუშავებულია კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურული საიმედოობის ლოგიკურ-ალბათური მოდელები
9. შესრულებულია საქართველოს უნივერსიტეტის კომპიუტერული ქსელის ფრაგმენტის საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასება ლოგიკურ-ალბათური მოდელების გამოყენებით და ჩატარებულია მიღებული შედეგების ანალიზი
10. დამუშავებულია კომპიუტერული ქსელის თითოეული კვანძის „წონის“, „მნიშვნელობისა“ და

„წვლილის“ რაოდენობრივი შეფასების მეთოდოლოგია ლოგიკურ-ალბათური მეთოდების ბაზაზე

11. ჩატარებულია საქართველოს უნივერსიტეტის ქსელის ფრაგმენტის მაგალითზე თითოეული კვანძის „წონის“, „მნიშვნელობისა“ და „წვლილის“ რაოდენობრივი შეფასება და შესაბამისი ანალიზი.
12. დასაბუთებულია, რომ მხოლოდ მათემატიკური მოდელირების (ლოგიკურ-ალბათური მოდელირების) საფუძველზეა შესაძლებელი მაღალი ეფექტიანობის (სტრუქტურული საიმედოობის) და ოპტიმალური ქსელის დაპროექტება.

*გამოქვეყნებული სტატიები, სამეცნიერო პროექტები:*

სადისერტაციო ნაშრომში ასახული საკითხების გამოქვეყნება მოხდა შემდეგ სამეცნიერო ჟურნალებში:

1. „Designing of the system board on the basis of an asynchronous serial bus“, რომელიც დაბეჭდილია ჟურნალში “საქართველოს საინჟინრო სიახლენი 1’15”, N 1 (vol 73), 2015.
2. „Quantitate Evaluation Models of

Structural Reliability of Complex Systems“ გადაცემულია დასაბეჭდად და დაიბეჭდება ჟურნალის “Georgian Engineering News” 2015 წლის მე-4 ნომერში.

სამეცნიერო პროექტის ფარგლებში, რომელიც ეხებოდა „ასინქრონული ციფრული სისტემების დამუშავებას“ (2013), მოხდა ასევე სადისერტაციო ნაშრომის მნიშვნელოვანი საკითხების გაშუქება.