

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვლადიმერ ადამია

ინფო-საკომუნიკაციო ქსელების საიმედოობის
შეფასების და ამაღლების მოდელები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2011 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის
კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტის
კომპიუტერული სისტემებისა და ქსელების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: **ტმდ. პროფ. ილია მიქაძე**

ტმდ. პროფ. რევაზ კაკუბავა

რეცენზენტები: **ფმმკ. პროფ. გივი ფიფია**

ტმკ. როლანდ კუკავა

დაცვა შედგება 2011 წლის "28" აპრილს, 14 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და
მართვის სისტემების ფაკულტეტის ფაკულტეტის სადისერტაციო
საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი სრ. პროფ. თ. კაიშაური

ABSTRACT

Determination of efficiency of network structure is difficult and very labor-intensive. Data networks among above mentioned networks are most expensive, though despite of existing differences it is possible to separate a class of tasks to determine rational structure of networks. These tasks are common for all data networks and can be resolved by same means and methods.

This dissertation includes following : creation of quantitative methods of data networks functional analysis, improvement of fault tolerance of computational methods and provision of maximum data exchange speed by processing time reduction of failure corrections. Dissertation also includes evaluation of those parameters, which determine network reliability and economic efficiency.

First chapter includes research subject, specifically organizational principles of fault tolerant informational computational processes, their technical predecessors and analysis. Problem of technical systems and data networks functional quality evaluation and provision is determined as well as its possible solutions. Particularly, issues of development of fault resistant technical systems, methods to improve system's reliability and trustworthiness, short review of research subject and current state of unresolved issues, stated problem's existing and new mathematical models. Short analysis of research literature is added. Based on above mentioned materials, comparative analysis of methods of fault resistant technical systems and ways to improve their reliability and trustworthiness is done and conclusion is made that structural and time reservation is the most effective method. It is well known that this type of reservation does not require excessive expenses. In addition, efficiency criteria are determined.

Second chapter describes mathematical models which are used in design of technical systems and computational network structures. Particularly, models of service systems' functions are reviewed, which are distinguished by control system organization and strategies of their use. It is assumed that amount of completed tasks and recovery time are random variables distributed normally and faults and error trend are subject to Poisson law.

In addition, second chapter includes mathematical models, which use Laplace transformation to determine mathematical expectation of packet (data) transfer time

after taking into account communication channel errors. Several specific cases are included.

Third chapter consists of research results for effective structure design methodology of data networks. This methodology includes three sequential stages: building of network using minimal length communication channel, building basic in - out data structure and optimal structure.

At the end of this paper conclusions are made based on conducted research.

ნაშრომის ზოგადი დასასიათება

თემის აქტუალობა

ცივილიზაციის სწრაფმა განვითარებამ, რომელიც განსაკუთრებით იგრძნობა მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში, გამოიწვია ინფორმაციის მსოფლიო ნაკადის არნახული ტემპით ზრდა. ინფორმაციის დროულად მოძებნის შეუძლებლობა განაპირობებს მეცნიერებისა და ტექნიკის მიღწევების არასრულ გამოყენებას, ე.ი. დროისა და ძალის დაკარგვას.

ადამიანის მოკრძალებულ შესაძლებლობებსა და ინფორმაციის თითქმის თვალუწვდენელ ნაკადს შორის ამ შეუსაბამობამ წარმოშვა სწორედ ჩემს მიერ დასმული პრობლემა: ინფო-საკომუნიკაციო ქსელების საიმედოობის შეფასებისა და ამადლების მოდელის დამუშავება.

განაწილებული საინფორმაციო – გადამცემი სისტემების ფართო დანერგვის თვალსაზრისით ერთ-ერთი ძირითადი სიძნელე მდგომარეობს მათ არც თუ იაფ ღირებულებაში. ქსელების ღირებულების შემცირების ტემპები მნიშვნელოვნად ჩამორჩებიან ქსელური კომპონენტების (მაგ. პერსონალური კომპიუტერების) ღირებულების შემცირების ტემპებს. ამიტომ ქსელების შექმნაზე ყოველგვარი დანახარჯების შემცირების შესაძლებლობების გამონახვა, აგრეთვე უკვე არსებულ ქსელებში გამოყენებული მატერიალური და შრომითი რესურსების ეფექტურობის ამადლების გზების კვლევა-ძიება წარმოადგენს აქტუალურ პრობლემას, რომლის ზოგიერთი ნაწილის გადაწყვეტას ეძღვნება აღნიშნული სადისერტაციო ნაშრომი.

მაღალეფექტური საინფორმაციო – გამომთვლელი ქსელური სტრუქტურების პროექტირებისას სამეცნიერო კვლევების ძირითადი

პრობლემა მდგომარეობს ქსელის ძირითადი პარამეტრებისა და იმ კომპონენტების მახასიათებლებზე ტექნიკური მოთხოვნების სრულყოფილ განსაზღვრაში, რომელთა საფუძველზეც წყდება ოპტიმალური ქსელური რესურსების შერჩევის ამოცანები, საინფორმაციო ნაკადების მართვა და სხვა პრობლემები. ყველაზე რთულ პრობლემას საინფორმაციო ქსელების შექმნის დროს წარმოადგენს ქსელის ეფექტური სტრუქტურის შექმნის ან შერჩევის პრობლემა, რომელიც განსაზღვრავს ქსელზე ძირითად მატერიალურ დანახარჯებს. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად საჭიროა დამუშავდეს მათემატიკური მოდელები – ძირითადი ინსტრუმენტი საინფორმაციო – გადამცემი ქსელური სტრუქტურის შესაქმნელად გადაწყვეტილებების მიღებაში, რომელთა ბაზაზეც ხდება შესაძლებელი დამუშავდეს ოპტიმალური ქსელების სისტემური პროექტირების მეთოდიკა.

სამუშაოს მიზანი

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს მონაცემთა გადაცემის ქსელების ფუნქციონალური ანალიზის რაოდენობრივი მეთოდების შექმნა. გამოთვლითი პროცესის მტყუნებადმდგრადობის ამაღლების ხერხების დამუშავება და ტექნიკური სისტემების მაქსიმალური გამტარუნარიანობის უზრუნველყოფა მტყუნებათა შედეგების ლიკვიდაციაზე დახარჯული დროის შემცირების ხარჯზე, ასევე, იმ მაჩვენებლების შეფასება, რომლებიც განაპირობებენ მათ საიმედოობასა და ეკონომიურ ეფექტიანობას.

ამიტომ, აღნიშნული მიზნიდან გამომდინარე, ნაშრომის ძირითადი ამოცანებია: ორიგინალთან მაქსიმალურად მიახლოებული მათემატიკური მოდელების შექმნა და გამოკვლევა; ფუნქციონირების ხარისხის მაჩვენებლების შერჩევა, დასაბუთება და ანალიზი.

კვლევის ობიექტი

კომპიუტერული სისტემები, სადაც გამოიყენება პაკეტური გადაცემა.

კვლევის მეთოდები

ნაშრომში გამოყენებულია: საიმედოობისა და შემთხვევით პროცესთა თეორია; დიფერენციალური და ინტეგრალური განტოლებები; ქსელების პროექტირების თეორია; ოპერაციული აღრიცხვის მეთოდები.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები

- დამუშავებულია კავშირის არხის ახალი მათემატიკური მოდელები მდგრადი და თვითლიკვიდირებადი მტყუნებების გათვალისწინებით, რომლებიც ორიენტირებულია ამოცანის შესრულების დროის მინიმიზაციისაკენ.

- დამუშავებულია ნებისმიერი დანიშნულების კავშირის არხების საიმედოობის გაზრდისათვის განკუთვნილი ტექნიკური და ტექნოლოგიური ხასიათის მოდელები და ალგორითმები.

- დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები, ქსელში პაკეტის გადაცემის რეალური დროის შეფასებისათვის, კავშირის არხებზე წარმოქმნილი შეცდომების გავლენის დროს;

- შემუშავებულია ნებისმიერი დანიშნულების ინფორმაციული ქსელების ეფექტური სტრუქტურის პროექტირების მეთოდოლოგია.

მეცნიერული სიახლე

წარმოდგენილი სამუშაოს მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს მონაცემთა გადაცემის ქსელების ახალი მათემატიკური მოდელების დამუშავებაში, რომლებიც არსებულისაგან განსხვავებით ითვალისწინებენ საწყისი მონაცემების მინიმალურ შეზღუდვებს. გარდა ამისა ამ მოდელების ბაზაზე დამუშავებულია საინფორმაციო პაკეტების მიმდებარე გამომცემი ქსელების ეფექტური სტრუქტურის პროექტირების მეთოდოლოგია.

კუბლიკაციები

დისერტაციის თემის ირგვლივ გამოქვეყნებულია 8 სამეცნიერო ნაშრომი. ასევე სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი კვლევის შედეგები აპრობირებულია სამეცნიერო – ტექნიკურ კონფერენციებზე.

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა

დისერტაცია შედგება შესავლის, 3 თავისაგან, დასკვნისაგან და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან. ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 145 გვერდს. იგი შესდგება ძირითადი ნაბეჭდი ტექსტის 138 გვერდისა და 8 ნახაზისაგან. გამოყენებული ლიტერატურის სია შედგება 104 დასახელებისაგან.

სამუშაოს შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია დისერტაციის თემის აქტუალობა, განსაზღვრულია სამუშაოს მიზანი და კვლევის მეთოდები.

დისერტაციის პირველ თავში განხილულია კვლევის ობიექტი, კერძოდ, მტყუნებადმდგრადი ინფორმაციულ - გამოთვლითი პროცესების ორგანიზაციის პრინციპები, მათი ტექნიკური წინამძღვრების მიმოხილვა და ანალიზი. დასმულია ტექნიკური სისტემების და მონაცემთა გადაცემის ქსელების ფუნქციონირების ხარისხის შეფასებისა და უზრუნველყოფის პრობლემა. მიმოხილულია ამ პრობლემის გადაწყვეტის გზები. კერძოდ, მტყუნებადმდგრადი ტექნიკური სისტემების დამუშავების პრობლემები, მათი საიმედოობისა და სარწმუნოობის ამაღლების მეთოდები, კვლევის საგნისა და ზოგიერთ გადაუწყვეტელ საკითხთა თანამედროვე მდგომარეობის მოკლე მიმოხილვა, დასმული პრობლემის გადაწყვეტის არსებული და ახალი მათემატიკური მეთოდები. ჩატარებულია ლიტერატურის მოკლე ანალიზი და ნაჩვენებია გადაუწყვეტელი ამოცანები. ნაჩვენებია, რომ ინფორმაციის გადამცემმა ქსელმა უნდა უზრუნველყოს ინფორმაციის დროული ჩაბარება წყაროდან - მიმღებამდე მინიმალური დანახარჯებით.

დროულობის ძირითადი მაჩვენებელია $T_{ჩაბ}$ - ინფორმაციის ჩაბარების დრო, რომელიც დამოკიდებულია კავშირის არსებობა და ტექნიკური საშუალებების სისწრაფეზე, მათ საიმედოობაზე, ქსელის სტრუქტურაზე და სხვა ტექნიკურ მაჩვენებლებზე. თავის მხრივ ქსელის კომპონენტების ხარისხის უზრუნველყოფა დამოკიდებულია იმ დანახარჯების სიდიდეზე, რომელიც გამოიყოფა ქსელის შექმნაზე.

აქედან გამომდინარე, $T_{\text{ნაბ}}$ ფუნქცია შეიძლება გამოყენებულ იქნას ეფექტურობის კრიტერიუმად, რომელიც თავისთავში აერთიანებს ყველა კერძო კრიტერიუმს.

ქსელის სტრუქტურის კვლევის ამოცანები დაყვანილი უნდა იქნენ შემდეგი ფუნქციების მიღებად:

$$C_i = C(\bar{T}_{\text{ნაბ}_i}, \lambda_1, \dots, \lambda_k, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, F_i^k(t), P_i^k, N_i, K_{\text{ფ}_i}) \quad (1)$$

$$K_{\text{ფ}_i} = K(\bar{T}_{\text{ნაბ}_i}, \lambda_1, \dots, \lambda_k, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, F_i^k(t), C_i, P_i^k, N_i, K_{\text{ფ}_i}) \quad (2)$$

სადაც $K_{\text{ფ}_i}, C_i$ – ქსელის სტრუქტურის i -ური არხის შესაბამისად გამტარუნარიანობისა და მზადყოფნის კოეფიციენტის ეფექტური მნიშვნელობებია, როცა $i=1,2,3,\dots,\mu$;

$\bar{T}_{\text{ნაბ}_i}$ – შეტყობინებების (პაკეტების) ჩაბარების დაყოვნება i -ურ არხში;

λ_j, τ_j – შეტყობინებების (პაკეტების) ნაკადების ინტენსივობებია i -ურ არხში შესაბამისად როგორც სამომსახურეო, ისე მომხმარებელზე გადასაცემი ინფორმაციისა ($j=1,2,3,\dots,k$);

$F_i^k(t)$ – შეტყობინებათა შესაბამისი ნაკადებისა და მათი სიგრძეების i -ურ არხში განაწილების კანონი;

P_i^k – i -ურ არხში შეტყობინებების k -ური ნაკადის დამახინჯების ალბათობა;

N_i – სააბონენტო სადგურების რიცხვი, მიერთებული i -ურ არხზე;

$K_{\text{ფ}_i}$ – საიმედოობა (i -ური არხის მზადყოფნის კოეფიციენტი).

(1) და (2) გამოსახულებების მიღება წარმოადგენს ჩატარებული კვლევის ძირითად ამოცანას, რადგან მათი მდგენელები წარმოადგენენ ქსელის ძირითად პარამეტრებს. მთავარ პარამეტრებად მათი მიკუთვნება აიხსნება იმით, რომ ისინი ახასიათებენ ინფორმაციის გადამცემი ქსელების ხარისხობრივ და რაოდენობრივ შემადგენლობას და მის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევის მიზნისა და ამოცანების მათემატიკური ფორმულირება ყოველგვარი

ზემოთსენებულის გათვალისწინებით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

ვიპოვოთ პირობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მიზნობრივი ფუნქციის მინიმუმს:

$$\begin{cases} U_c = U(Q_i, m_i, K_{\text{მ}i}, C_i, U_r, M, N) = \min \\ \text{და } \bar{T}_{\text{ნაბ}} \leq T_{\text{ნაბ.მ.}} \end{cases} \quad (3)$$

სადაც, $\bar{T}_{\text{ნაბ}}, T_{\text{ნაბ.მ.}}$ – შესაბამისად რეალური და მოცემული შემკვეთის მიერ დაყოვნებაა ქსელში.

აღნიშნულ პარაგრაფში ფორმულირებული პრობლემების გადასაჭრელად საჭიროა შეირჩეს ეფექტური მეთოდები საკვლევი ამოცანების გადასაჭრელად. ესენია მასობრივი მომსახურების თეორია, შემთხვევითი პროცესების თეორია, მათემატიკური პროგრამირება.

მეორე თავში აღწერილია მათემატიკური მოდელები, რომლებიც გამოიყენება ტექნიკური სისტემებისა და გამოთვლითი ქსელების სტრუქტურების პროექტირებაში. კერძოდ, განიხილება მომსახურე სისტემების ფუნქციონირების მოდელები, რომლებიც განსხვავდებიან კონტროლის სისტემის ორგანიზებით და მისი გამოყენების მიღებული სტრატეგიით, იმ ვარაუდით, რომ შესრულებული ამოცანის მოცულობა და აღდგენის დრო წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს განაწილების ნებისმიერი კანონით, ხოლო მტყუნებები და შეფერხებათა ნაკადი ემორჩილება პუასონის კანონს.

განხილულ მოდელებში მიღებულია, რომ, მომსახურე სისტემას აქვს ერთი ქმედითუნაირიანი მდგომარეობა ($m=1$ ან $n=1$); ამოცანის გადაწყვეტის დროის განაწილების ფუნქციაა - $\Psi(t)$. ყოველი ეტაპის შესრულების სრული დრო (განაწილების ფუნქციით $F_j(t)$ ($j=1, n$)) მოიცავს η დროს, რომელიც აუცილებელია განაწილების $F_{j1}(t)$ ფუნქციის მქონე ეტაპის წარმოქმნისათვის და აგრეთვე მოიცავს $F_{j2}(t)$ განაწილების ფუნქციის მქონე ეტაპის ამოხსნის საკუთარ დროს.

გარდა ამისა, ამ თავში აღწერილია მათემატიკური მოდელები, რომლებშიც განსაზღვრულია პაკეტის გადაცემის დრო კავშირის არხში წარმოქმნილი შეცდომების გათვალისწინებით

მოდელი 1. პაკეტის გადაცემის დროის განსაზღვრა კავშირის არხში წარმოქმნილი შეცდომების გათვალისწინებით

ამ მოდელის მიხედვით კავშირის არხში გამავალი შეტყობინება იყოფა პაკეტებად. გადაცემის ბოლოში თითოეული პაკეტი მოწმდება მიმღების მიერ. გაუმართაობის აღმოჩენის შემთხვევაში, კავშირის არხი გადაეცემა აღდგენაზე, რის შემდეგაც განმეორდება პაკეტის გადაცემა. საჭიროა განისაზღვროს: პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების ფუნქცია, მისი საშუალო მნიშვნელობა, შეტყობინების პაკეტებად დაყოფის ეფექტური მნიშვნელობა და გადაცემის სიჩქარე, რომელიც უზრუნველყოფს კავშირის არხის მაქსიმალურ გამტარუნარიანობას.

$\Phi_3^3(t)$ – პაკეტის გადაცემის რეალური დროის განაწილების ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი ინტეგრალური განტოლებებიდან:

$$\begin{aligned} \Phi_3^3(t) = & \int_0^t dF_3(u)e^{-\alpha(c)u}V(t-u) + \int_0^t dF_3(u)(1-e^{-\alpha(c)u}) \int_0^{t-u} dV(v) \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dG(\eta)\Phi_3^3(t-u-v-\eta) \end{aligned} \quad (4)$$

სადაც: $F_3(u)$ – იდეალური კავშირის შემთხვევაში პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების ფუნქცია ($f(u) = F'(u)$); $\alpha(c)$ – კავშირის არხების მტყუნებათა ინტენსივობა, რომელიც დამოკიდებულია მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეზე; $V(t)$ – პაკეტის გადაცემის სისწორის კონტროლის დროის განაწილების ფუნქცია ($V(t) = V'(t)$); N_3 – პაკეტში საინფორმაციო სიმბოლოების რიცხვია ($N_3 = N_3/n$); $G(u)$ – მტყუნებადი კავშირის არხის აღდგენის დროის განაწილების ფუნქცია ($g(u) = G'(u)$);

(4)-ის მიმართ ლაპლასის გარდაქმნის გამოყენებით, მივიღებთ:

$$\Phi_3^3(s) = f_3(s + \alpha(c))\nu(s)/s + \nu(s)g(s)\Phi_3^3(s)[f_3(s) - f_3(s + \alpha(c))] \quad (5)$$

რომლის ამოხსნის შედეგად, ვიღებთ:

$$\Phi_3^3(s) = f_3(s + \alpha(c))\nu(s)/s\{1 - \nu(s)g(s)[f(s) - f(s + \alpha(c))]\} \quad (6)$$

სადაც, $f_3(s + \alpha(c)) = e^{-(N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}})(s + \alpha(c))/nc}$; $v(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dU(t)$;

$$f_n(s) = e^{-(N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}})s/nc}; \quad g(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dG(t).$$

$\Phi_{\text{მ}}^3(s)$ -ის მიღებით, ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ $\Phi_{\text{მ}}^3(s) = (S\Phi_{\text{მ}}^3(s))^n / S$.

პაკეტის გადაცემის დროის მათემატიკური მოლოდინი, როცა $\alpha(c) = \gamma c^m$

$$T_{\text{მ}}^3 = -n\tau_{\text{სგ}} + \left(n\tau_{\text{მ}} + n\tau_{\text{სგ}} + \frac{N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}}}{C} \right) \cdot \exp[(N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}})\alpha(c)/nC] \quad (7)$$

სადაც, $\tau_{\text{სგ}} = -g(s)|'_{s=0}$ - მტყუნების აღმოფხვრის დროის მათემატიკური მოლოდინი; $\tau_{\text{მ}} = -V(s)|'_{s=0}$ - უშეცდომოდ გადაცემული პაკეტის კონტროლის დროის მათემატიკური მოლოდინია.

n -ის და c -ს საუკეთესო მნიშვნელობის საპოვნელად, როდესაც $T_{\text{მ}}^3(n, c)$ მიიღებს უმცირეს მნიშვნელობას ფიქსირებული $N_{\text{მ}}$ დროს, ამოსხნილია შემდეგი განტოლება:

$$\frac{\partial T_{\text{მ}}^3(n, c)}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial T_{\text{მ}}^3(n, c)}{\partial c} = 0. \quad (8)$$

$T_{\text{მ}}^3(n, c)$ მნიშვნელობის (8)-ში ჩასმით, მიღებულია:

$$\left\{ \begin{aligned} & \left[-\tau_{\text{სგ}} + \left[\tau_{\text{მ}} + \tau_{\text{სგ}} + \frac{N_{\text{გ}}}{C} - \left(n\tau_{\text{მ}} + n\tau_{\text{სგ}} + \frac{N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}}}{C} \right) \gamma C^{m-1} N_{\text{მ}} / n^2 \right] \times \right. \\ & \left. \times \exp[(N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}})\gamma C^{m-1} / n] = 0; \right. \\ & \left. n(\tau_{\text{მ}} + \tau_{\text{სგ}})C^m + (N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}})C^{m-1} = n/\gamma(m-1), \quad m \neq 1. \right. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა: $m = 2$; $\tau_{\text{მ}} = \tau_{\text{სგ}} = 0$. მაშინ მივიღებთ:

$$C_{\text{მგ}} = n/\gamma(N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}}) \quad (10)$$

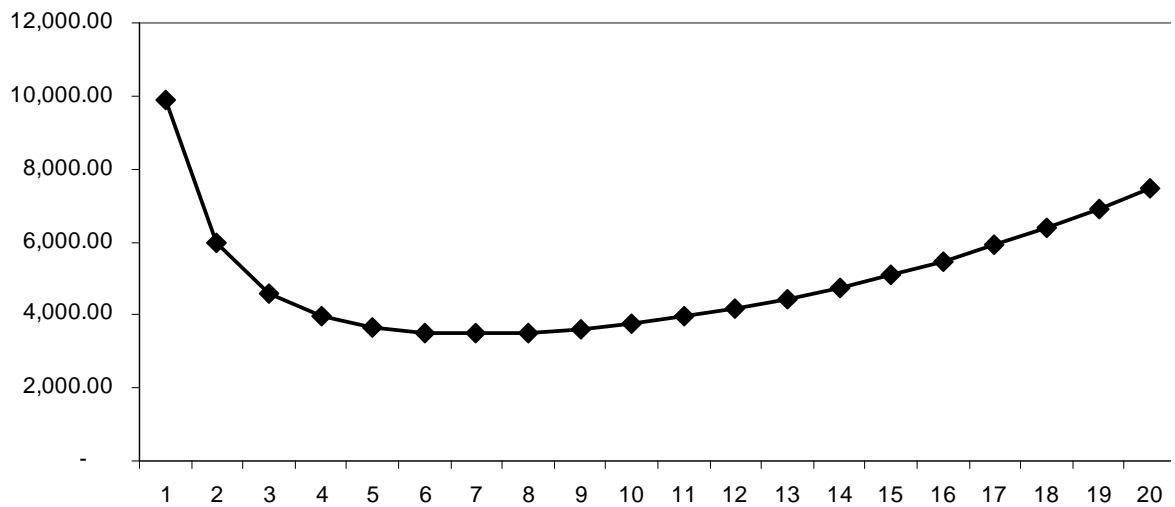
ტოლობა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$N_{\text{გ}}n^2 - (N_{\text{მ}} + nN_{\text{გ}})\gamma N_{\text{მ}}C_{\text{მგ}} = 0 \quad (11)$$

თუ (11) გამოსახულებას ჩავსვათ (10)-ში, მივიღებთ: $N_{\text{მგ}} = N_{\text{მ}} / N_{\text{გ}}$

და $C_{\text{ობტ}} = 1/2\gamma N_{\text{დ}}$. თუ ამ ოპტიმალურ გამოსახულებებს ჩავსვავთ (7)-ში, მივიღებთ პაკეტის ჩაბარების ოპტიმალურ დროს $T_{\text{ობტ}}^{\text{შ}}(N_{\text{ობტ}}, C_{\text{ობტ}}) = 4\gamma N_{\text{შ}} N_{\text{დ}} e$.

ნახ.1. ნაჩვენებია პაკეტის გადაცემის დროის გრაფიკი. აღნიშნული გრაფიკი აგებულია ცხრილი 1-ის საფუძველზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ $T_{\text{ობტ}}^{\text{შ}}$ ოპტიმალურ მნიშვნელობას მიიღებს, როდესაც $n=900$ და $C=1600$.



ნახ. 1. პაკეტის გადაცემის ეფექტური დრო, ქსელში წარმოქმნილი შეცდომების და დამახინჯებების აღმოფხვრის დროის გათვალისწინებით

ცხრილი 1

№	n	$\tau_{\text{აღ}}$	$\tau_{\text{კ}}$	$N_{\text{შ}}$	$N_{\text{დ}}$	C	$T_{\text{ობტ}}^{\text{შ}}$
1	300	10	1	100000	100	1000	9,905.72
2	400	10	1	100000	100	1100	5,980.94
3	500	10	1	100000	100	1200	4,574.78
4	600	10	1	100000	100	1300	3,942.13
5	700	10	1	100000	100	1400	3,638.50
6	800	10	1	100000	100	1500	3,506.91
7	900	10	1	100000	100	1600	3,480.04
8	1000	10	1	100000	100	1700	3,525.19
9	1100	10	1	100000	100	1800	3,625.27
10	1200	10	1	100000	100	1900	3,771.04
11	1300	10	1	100000	100	2000	3,957.60
12	1400	10	1	100000	100	2100	4,182.66
13	1500	10	1	100000	100	2200	4,445.60
14	1600	10	1	100000	100	2300	4,747.02

15	1700	10	1	100000	100	2400	5,088.40
15	1800	10	1	100000	100	2500	5,471.94
16	1900	10	1	100000	100	2600	5,900.49
17	2000	10	1	100000	100	2700	6,377.50
18	2100	10	1	100000	100	2800	6,906.97
19	2200	10	1	100000	100	2900	7,493.51

მოდელი 2. შეტყობინების გადაცემის დროის განსაზღვრა უწყვეტი კონტროლით

კომპიუტერზე გადასაწყვეტი ამოცანა დაყოფილია n ეტაპებად. თითოეული ეტაპის შესრულების დრო წარმოადგენს დამოუკიდებელ შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი $F(x)$ კანონით. შეიძლება აღიძრას ორი სახის მტყუნება (ხელისშემშლელი ფაქტორი) α და β ინტენსივობით. პირველი სახის α მტყუნება წარმოადგენს მდგრადს, ხოლო მეორე β სახის-თვითმოცილებადას. კომპიუტერში გამოყენებულია სპეციალური კოდი, რომელიც აღმოაჩენს ორმაგ შეცდომებს და კორექტირებას უკეთებს ცალკეულ შეცდომებს. აღმოჩენის შემდეგ წარმოებს რემონტი. რემონტის დრო წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი $G(u)$ კანონით. მდგრადი ხელისშემშლელი ფაქტორების აღძვრის დროს ხდება დამახინჯებული ეტაპების გადათვლა, ხოლო თვითლიკვიდირებადი ხელისშემშლელი ფაქტორების აღძვრის შემდეგ გაგრძელება ხდება შეწყვეტილი ადგილიდან. მოცემულ დროში ამოცანის გადაწყვეტის განხორციელებადაობა $\Phi_j(t, x)$, განსაზღვრება შემდეგი ინტეგრალური განტოლებებიდან:

$$\Phi_j(t, x) = \int_0^t e^{-\alpha u} d_u F(x+u) \Phi_{j+1}(t-u, 0) + \int_0^t \alpha e^{-\alpha u} \bar{F}(x+u) \Phi_j^{(1)}(t-u, x+u) du \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Phi_j^{(1)}(t, x) = & \int_0^t e^{-\alpha u} e^{-\beta u} d_u F(x+u) \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u, 0) + \int_0^t \alpha e^{-\alpha u} e^{-\beta u} \bar{F}(x+u) du \times \\ & \times \int_0^{t-u} dG_1(v) \cdot \Phi_j(t-u-v, 0) + \int_0^t \beta e^{-\alpha u} e^{-\beta u} du \bar{F}(x+u) \int_0^{t-u} dG_2(v) \Phi_j(t-u-v, x+u) \end{aligned} \quad (13)$$

სადაც $\bar{F}(u) = 1 - F(u)$;

ლაპლასის გარდაქმნაზე გადასვლით და მათი ამოხსნით, მივიღებთ განტოლებათა სისტემას ოთხი უცნობით:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_j(s,0) = \frac{(A_1 + A_2) \cdot M}{M - K} ; \\ \Phi_j^{(1)}(s,0) = \frac{(s + \alpha)[(A_1 + A_2)(M - K) + K((A_1 + A_2))] - (A_1\lambda_1 + A_2\lambda_2)(M - K)}{\alpha(M - K)} ; \\ \Phi_j(s,\tau) = A_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2 e^{\lambda_2 \tau} - \frac{d}{c} = \frac{1}{s} ; \\ \Phi_j^{(1)}(s,\tau) = \frac{(s + \alpha)(A_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2 e^{\lambda_2 \tau} - \frac{d}{c}) - (A_1\lambda_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2\lambda_2 e^{\lambda_2 \tau})}{\alpha} = \frac{1}{s} ; \end{array} \right. \quad (14)$$

სადაც:

$$M = (s + \alpha)(s + \alpha + \beta) - \alpha\beta g_2(s) ; \quad K = \alpha^2 g_1(s) ; \quad d = \alpha g_1(s) \Phi_j(s,0) ;$$

$$a = -\frac{1}{\alpha} ; \quad b = \frac{2s + 2\alpha + \beta}{\alpha} ; \quad c = -\left[\frac{(s + \alpha)(s + \alpha + \beta)}{\alpha} - \beta g_2(s) \right] ;$$

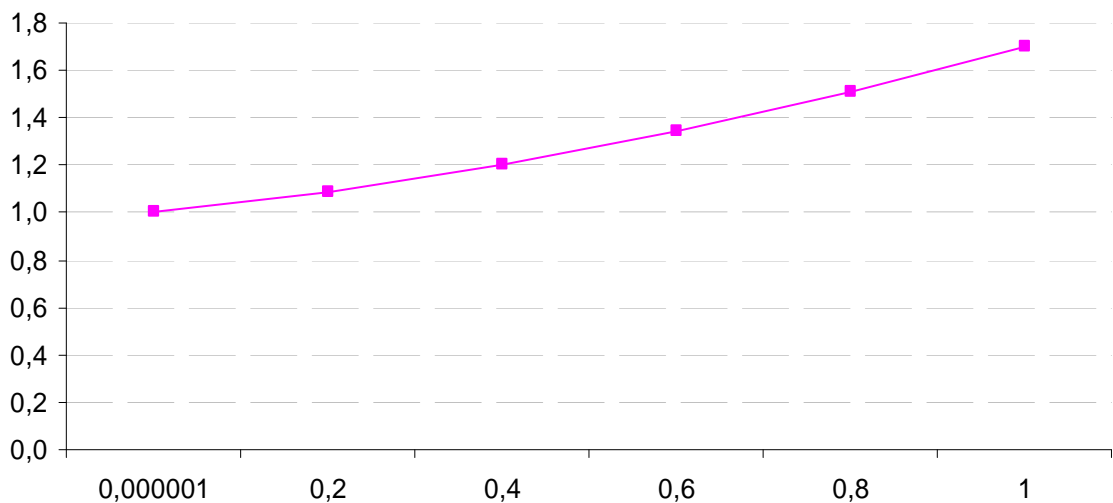
$$\lambda_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} ; \quad \lambda_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} ; \quad A_1 = \frac{1/s (f - b')}{a'f - d'b'} ;$$

$$A_2 = \frac{1/s (a' - d')}{a'f - d'b'} ; \quad a' = \frac{e^{\lambda_1 \tau} (M - k) + k}{M - K} ; \quad b' = \frac{e^{\lambda_2 \tau} (M - K) + K}{M - K} ;$$

$$d' = \frac{(Me^{\lambda_1 \tau} - Ke^{\lambda_1 \tau} + K) - \lambda_1 e^{\lambda_1 \tau} (M - K)}{\alpha(M - K)} ; \quad f = \frac{(Me^{\lambda_2 \tau} - Ke^{\lambda_2 \tau} + K)(s + \alpha) - \lambda_2 e^{\lambda_2 \tau} (M - K)}{\alpha(M - k)} .$$

ვიციოთ, რა $\Phi_j(s,0)$, შეგვიძლია განვსაზღვროთ შეტყობინების გადაცემის დროის მათემატიკური ლოდინი ცნობილი ფორმულით:

$$T = -s \Phi_j(s,0) \Big|_{s=0} ' = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1 - s \Phi(s,0)}{s} ;$$



ნახ2. შეტყობინების გადაცემის დროის მათემატიკურ ლოდინის α -ზე დამოკიდებულება.

α	β	$g_1(s)$	$g_2(s)$	s	τ	$\Phi(s, \theta)$	T
0.8	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.48979	1.51021
0.6	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.65563	1.34437
0.4	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.79621	1.20379
0.2	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.9116	1.08840
1	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.29737	1.70263
0.000001	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99999	1.00000

მოდელი 3. შეტყობინების გადაცემის დროის განსაზღვრა ბოლოში კონტროლით

კომპიუტერზე გადასაწყვეტი ამოცანა დაყოფილია n ეტაპებად. თითოეული ეტაპის შესრულების დრო წარმოადგენს დამოუკიდებელ შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი $F(x)$ კანონით. შეიძლება აღიძრას ერთი სახის მტყუნება α ინტენსივობით. კომპიუტერში გამოყენებულია მაკონტროლებელი კოდი, რომელიც აღმოაჩენს ორმაგ შეცდომას თითოეული პაკეტის გადაცემის ბოლოს. შეცდომის აღმოჩენის შემდეგ წარმოებს რემონტი. რემონტის დრო წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი $G(u)$ კანონით. მოითხოვება მოცემულ დროში ამოცანის გადაწყვეტის განხორციელებადობის განსაზღვრა.

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად განხილულია $\Phi_j(t)$ - ალბათობა იმის, რომ მოთხოვნათა დამუშავება დამთავრდება t - ზე ნაკლებ დროში. პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების $\Phi_j(t)$ ფუნქციისათვის, ადგილი აქვს შემდეგ ინტეგრალურ დამოკიდებულებას:

$$\begin{aligned} \Phi_j(t) &= \int_0^t dF(u)e^{-\alpha u} \Phi_{j+1}(t-u) + \int_0^t dF(u) \alpha u e^{-\alpha u} \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u) + \\ &+ \int_0^t dF(u) \cdot \sum_{i=2}^{\infty} (\alpha u)^i e^{-\alpha u} \times \int_0^{t-u} dG(v) \cdot \Phi_j(t-u-v); \end{aligned} \quad (15)$$

$$\Phi_j^{(1)}(t) = \int_0^t dF(u) e^{-\alpha u} \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u) + \int_0^t dF(u) \cdot (1 - e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dG(v) \Phi_j(t-u-v);$$

გამოვიყენებთ რა, ლაპლასის გარდაქმნას (15)-თვის, მივიღებთ:

$$\Phi_{(j)}(s) = \Phi_{j+1}(s)f(s+\alpha) + \alpha\tau e^{-(s+\alpha)\tau} \Phi_{j+1}^{(1)}(s) + g(s)\Phi_j(s) \times [f(s) - f(s+\alpha) - \alpha\tau e^{-(s+\alpha)\tau}] \quad (16)$$

$$\Phi_j^{(1)}(s) = \Phi_{j+1}^{(1)}(s)f(s+\alpha) + [f(s) - f(s+\alpha)] \cdot g(s)\Phi_j(s)$$

(16)-ში საშუალო მნიშვნელობაზე გადასვლით, მივიღებთ:

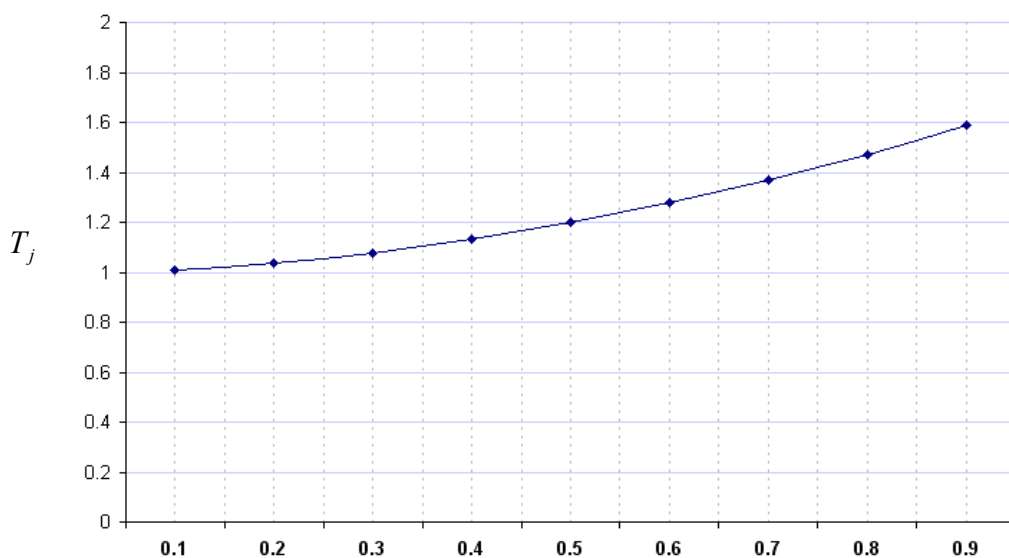
$$T_j = \frac{T_{j+1}f(\alpha) + \alpha\mathcal{f}(\alpha)T_{j+1}^{(1)} + \tau_{\phi}[1 - f(\alpha) - \alpha\mathcal{f}(\alpha)] + \tau_s}{f(\alpha) + \alpha\mathcal{f}(\alpha)} \quad (17)$$

$$T_j^{(1)} = T_{j+1}^{(1)}f(\alpha) + T_j[1 - f(\alpha)] + \tau_{\phi}[1 - f(\alpha)] + \tau_s$$

(17) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგად მივიღებთ:

$$T_j = \frac{\sum_{i=0}^{n-j} f(\alpha)^{n-j-i} [\alpha\mathcal{f}(\alpha)T_{n-i+1}^{(1)} + A] B^i}{B^{n-j+1}}$$

$$T_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-j} f(\alpha)^{n-j-i} [(1 - f(\alpha))(T_{n-i} + \tau_{\phi}) + \tau]$$



ნახ3. შეტყობინების გადაცემის დროის მათემატიკურ ლოდინის α -ზე დამოკიდებულება.

ცხრილი 3

α	τ_{ϕ}	τ	$f(\alpha)$	$T_j^{(1)}$	T_j
0.1	1	1	0.90	1.19	1.01
0.2	1	1	0.82	1.37	1.04
0.3	1	1	0.74	1.54	1.08
0.4	1	1	0.67	1.70	1.13

0.5	1	1	0.61	1.86	1.20
0.6	1	1	0.55	2.03	1.28
0.7	1	1	0.50	2.19	1.37
0.8	1	1	0.45	2.36	1.47
0.9	1	1	0.41	2.54	1.59
1	1	1	0.37	2.72	1.72

ზემოთ განხილული მოდელი 2 და მოდელი 3-ის შედარებითი ანალიზის საფუძველზე მიღებული შემდეგები მოყვანილია ცხრილ4-ში.

ცხრილი 4

n	T_j კორექციით	T_j კორექციის გარეშე	სხვაობა
1	0.0870128711561	0.4648253308878	0.377812459731687
2	0.0849462235012	0.4214142538390	0.336468030337829
3	0.0844986805003	0.4083973069035	0.323898626403234
4	0.0843606941048	0.4022891098084	0.317928415703587
5	0.0843339728230	0.3988420970720	0.314508124249013
6	0.0843597276276	0.3966981305029	0.312338402875304
7	0.0844143900959	0.3952888216359	0.310874431539997
8	0.0844866783001	0.3943343755899	0.309847697289831
9	0.0845705145566	0.3936810664058	0.309110551849274
10	0.0846623350435	0.3932374233781	0.308575088334590
11	0.0847599118902	0.3929456144791	0.308185702588941
12	0.0848617808067	0.3927672852864	0.307905504479697
13	0.0849669397542	0.3926759959878	0.307709056233613
14	0.0850746798718	0.3926529283562	0.307578248484393
15	0.0851844855547	0.3926843241368	0.307499838582135
16	0.0852959727915	0.3927598914947	0.307463918703228
17	0.0854088496960	0.3928717780045	0.307462928308561
18	0.0855228904403	0.3930138883425	0.307490997902211
19	0.0856379175649	0.3931814188551	0.307543501290238
20	0.0857537896848	0.3933705326270	0.307616742942215
21	0.0858703927636	0.3935781279365	0.307707735172874
22	0.0859876338044	0.3938016702183	0.307814036413923
23	0.0861054362092	0.3940390680988	0.307933631889564
24	0.0862237363158	0.3959719371568	0.309748200841016

ცხრილიდან ჩანს, რომ T_j კორექციის გარეშე ოპტიმალურ მნიშვნელობას მიიღებს, როდესაც $n=15$ და T_j კორექციით - $n=5$, როცა $C=800$, $N_{\rho}=100$, ხოლო $N_{\sigma}=100000$.

მოდელი 4. მომსახურე სისტემა პროგრამული კონტროლით

შესასრულებელი სამუშაო დაყოფილია N ნაწილად, თითოეული ნაწილი n ერთნაირად განაწილებულ ეტაპად. მომსახურე სისტემის მუშაობის შედეგების სისწორის შემოწმება ხდება ყოველ ეტაპზე ამოხსნის გამეორების გზით, ორი ისეთი შედეგის გამოჩენამდე, რომლებიც ერთმანეთს ემთხვევა. ამის გამო მცირდება გამოთვლის შედეგებზე შეფერხების გავლენა. გამოთვლის შედეგების დაცვა მდგრადი მტყუნებების გავლენისაგან ხდება დროის განსაზღვრულ შეაღებებში პერიოდული კონტროლის საშუალებით. პერიოდული კონტროლი მოიცავს აუცილებლობის შემთხვევაში მომსახურე სისტემის საკონტროლო აპარატურის აღდგენას.

ანალოგიური განხილვების საფუძველზე $\Phi_1(t)$ და $\Psi_1(t)$ ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი ინტეგრალური განტოლებებით:

$$\begin{aligned} \Phi_j(t) = & \int_0^t dF(u)e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dF(v)e^{-\alpha v} \Phi_{j+1}(t-u-v) + \int_0^t dF(u)(1-e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dF(v)e^{-\alpha v} \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha \tau} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau) + \int_0^t dF(u)e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dF(v)(1-e^{-\alpha v}) \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha \tau} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau) + \int_0^t dF(u)(1-e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dF(v)(1-e^{-\alpha v}) \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha \tau} \int_0^{t-u-v-\tau} dF(v)e^{-\alpha v} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau-v) + L, \quad j = \overline{1, n}, \quad \Phi_{n+1}^{(i)}(t) = 1; \\ \Psi_1(t) = & \int_0^t d\Phi_1(u)e^{-\beta u} V(t-u) + \int_0^t d\Phi_1(u)(1-e^{-\beta u}) \int_0^{t-u} dV(v)\Psi_1(t-u-v) \end{aligned} \quad (18)$$

სადაც, $V(t)$ -არის პერიოდული კონტროლის განაწილების ფუნქცია; α – თვითმოცილებადი მტყუნებების ინტენსივობა; β – მდგრადი მტყუნებების ინტენსივობა; $\Phi_1(t)$ - t -ზე ნაკლებ დროში n ეტაპების შესრულების ალბათობა, მხოლოდ თვითმოცილებადი მტყუნებების დროს; $\Psi_1(t)$ - n ეტაპების ამოხსნის დროის განაწილების ფუნქცია, როგორც თვითმოცილებადი, ასევე მდგრადი მტყუნებების დროს. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა მომსახურება იწყება ქმედითუნარიანი მომსახურე სისტემით.

(18) განტოლებათა სისტემის გარდაქმნით და $\phi_1(s)$ და $\Psi(s)$ მიმართ მათი ამოხსნით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \varphi_1(s) &= s^{-1} \{f(s+\alpha)/[1-f(s)+f(s+\alpha)]\}^{2n}, \\ \Psi_1(s) &= [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} v(s) f^{2n}(s+\lambda) / s \{ [1-f(s+\beta) + \\ &+ f(s+\lambda)]^{2n} [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} - v(s) f^{2n}(s+\alpha) + \\ &+ [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} v(s) f^{2n}(s+\lambda) \}, \end{aligned} \quad (19)$$

სადაც: $\lambda = \alpha + \beta, \quad f(s) = \int_0^\infty e^{-st} dF(t), \quad v(s) = \int_0^\infty e^{-st} dV(t),$

$$\varphi_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \Phi_1(t) dt, \quad \Psi_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \Psi_1(t) dt$$

გავითვალისწინებთ რა, რომ $T_1^n = -|sQ_1(s)|'_{s=0}$ და $T_1 = -|s\Phi_1(s)|'_{s=0},$

მივიღებთ:

$$\begin{aligned} T_1^n &= -2nf'(0)f^{-1}(\alpha) \quad \text{და} \\ T_1 &= -[2nf'(0)f^{-1}(\alpha) + v'(0)] \times [1-f(\beta) + f(\lambda)]^{2n} / f^{2n}(\lambda), \end{aligned} \quad (20)$$

სადაც, $f'(0)$ და $v'(0)$ – არის შესაბამისად ეტაპის ამოხსნისა და პერიოდული კონტროლის მათემატიკური ლოდინი.

მთელი ამოცანის ამოხსნის სრული საშუალო დრო:

$$T_0 = NT_1 \quad (21)$$

მოდელი 5. მომსახურე სისტემა პროგრამულ – აპარატურული კონტროლით

ამ მოდელში შეფერხებების აღმოჩენა შესაძლებელია ამოცანის თითოეული ეტაპის ორმაგი რეალიზაციის მეთოდით, ხოლო მტყუნებების კი - აპარატურული საშუალებებით დროის იმავე იმტერვალში, რომელშიც შეფერხებები. შესრულებული სამუშაო გაყოფილია არათანაბარ ეტაპებად მათი ამოხსნის დროის განაწილების ნებისმიერი $F_j(t), \quad j = \overline{1, n}$ კანონით, ხოლო შეფერხებებისა და მტყუნებების ინტენსივობები α და $\beta, \quad j = \overline{1, n},$ შესაბამისად დამოკიდებულია გადასაწყვეტ ეტაპებზე.

დასმულ ამოცანას შეესაბამება შემდეგი ინტეგრალურ განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{aligned}
\Phi_1(t) &= \int_0^t e^{-(\alpha_j + \beta_j)x} dF_{j2}^*(x) \int_0^{t-x} dG_1(y) \Phi_{j+1}(t-x-y) + \\
&+ \int_0^t dF_{j2}^*(x) e^{-\beta_j x} [1 - e^{-\alpha_j x}] \int_0^{t-x} dG_1(y) \Phi_j(t-x-y) + \\
&+ \int_0^t \beta_j e^{-\beta_j x} [1 - F_{j2}^*(x)] dx \int_0^{t-x} dG_2(y) \Phi_1(t-x-y) \\
\Phi_{n+1}(t) &= 1; \quad j = \overline{1, n},
\end{aligned} \tag{22}$$

სადაც $F_{j2}^*(x)$ არის $F_j(x)$ განაწილების ფუნქციის ორჯერადი ნახევრი.

გამოვიყენებთ რა (22) - თვის ლაპლასის გარდაქმნას, მივიღებთ:

$$\begin{cases} a_j(s)\Psi_j(s) - b_j(s)\Psi_j(s) + c_j(s)\Psi_{j+1}(s) = 0 \\ \Psi_{n+1}(s) = \frac{1}{s}; \quad j = \overline{1, n} \end{cases} \tag{23}$$

სადაც:

$$\begin{aligned}
a_j(s) &= \frac{g_2(s)\beta_j[1 - f_j^2(p_{1j})]}{p_{1j}}; \\
b_j(s) &= 1 - g_1(s)[f_j^2(p_{1j}) - f_j^2(p_{2j})]; \\
c_j(s) &= g_1(s)f_j^2(p_{2j}); \quad p_{1j} = s + \beta_j; \quad p_{2j} = s + \alpha_j + \beta_j.
\end{aligned}$$

(23) სისტემის ამოხსნას T_j -ის მიმართებაში, აქვს სახე:

$$\Psi_1(s) = \left[\prod_{i=1}^n \frac{c_i}{b_i} \right] \left[1 - \sum_{m=1}^n a_m \prod_{i=1}^m \frac{c_i - 1}{b_i} \right]^{-1} \frac{1}{s}; \quad c_0 = 1. \tag{24}$$

თუ ამოცანის გადაწყვეტა იწყება j -ური ეტაპიდან, მაშინ (24)-ის გარდაქმნით T_j -ს მნიშვნელობასთან მიმართებაში, მივიღებთ:

$$\begin{cases} T_{n+1} = 0; \quad j = \overline{1, n} \\ a_{j0}T_1 - b_{j0}T_j + c_{j0}T_{j+1} = d_{j0} \end{cases} \tag{25}$$

სადაც: a_{j0}, b_{j0}, c_{j0} განისაზღვრებიან (23)-დან და ისინი ტოლია

$$a_j, b_j, c_j \text{ როცა } s=0, \quad \partial d_{j0} = \left| a_j - b_j + c_j \right|_{s=0}.$$

(25) განტოლების T_1 -ის მიმართებაში ამოხსნით, მივიღებთ:

$$T_1 = \frac{\sum_{m=1}^n d_{m0} \prod_{i=1}^m \frac{c_{i-1,0}}{b_{i0}}}{\left[\sum_{m=1}^n a_{m0} \prod_{i=1}^m \frac{c_{i-1,0}}{b_{i0}} \right] - 1} \quad (26)$$

სადაც მიღებულია, რომ $c_{00} = 1$.

მესამე თავში დამუშავებულია ეფექტური ქსელური სტრუქტურების პროექტირების მეთოდოლოგია. ეს მეთოდოლოგია მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

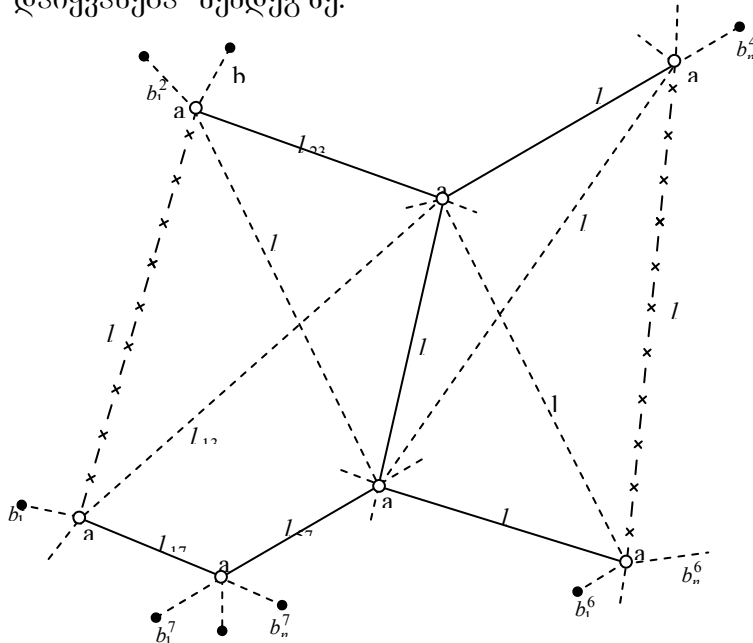
საწყისი მონაცემების ანალიზი და გათვლები;

ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა. საბაზო სტრუქტურის არჩევა დამყარებულია შემდეგი დამოკიდებულების განსაზღვრით:

$$E_6 K_{სს} + U_{სს} + \sum_i^f U_{აღ_i}(l_{სღ_i}) = \min \quad (27)$$

სადაც, $K_{სს}$ – სააბონენტო სადგურების რაოდენობაა “მაგისტრალში” (“მარყუში”); $U_{სს}$ – ერთი სააბონენტო სადგურის ღირებულებაა; $U_{აღ_i}(l_{სღ_i}) - l_{სღ_i}$ – გაჭიმულობის მქონე კავშირის არხის არენდის ღირებულებაა ქსელის ერთი წლით ექსპლუატაციის დროს; E_6 – ნორმატიული კოეფიციენტი.

ქსელის საბაზო სტრუქტურის წარმოქმნისა და გათვლის თანმიმდევრობა დაიყვანება შემდეგზე:



ნახ. 4. ქსელის საბაზო სტრუქტურის წარმოქმნის მაგალითი.

1) ხისმაგვარი სტრუქტურიდან საბოლოო პუნქტების შეერთების გზით წარმოიქმნება მინიმალური შესაძლო რაოდენობის “მარყუქის” ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს სტრუქტურაზე დანახარჯების მინიმუმს.

2) მიღებული სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის აიგება სტრუქტურული მატრიცა.

3) გამოითვლება იმ ნაკადის მაქსიმალურად დასაშვები ინტენსიობა $\lambda_{i \max}$, რომელიც შეიძლება მიმართული იქნეს თითოეულ i -ურ არხში; i -ური არხის გამტარუნარიანობა; შეტყობინების ჩაბარების დრო $T_{ჩაბ_i}$.

4) სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის ყველა a_t წყაროდან a_s მიმღებისაკენ განაწილდება საინფორმაციო ნაკადები $\lambda_{i \max}$ მნიშვნელობის გათვალისწინებით.

5) არსებული სტრუქტურებისთვის გამოითვლება ქსელის ყველა არხების გამტარუნარიანობა აბსოლუტურად საიმედო არხების დროს და კავშირის იმ არხებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ საკუთარი მზადყოფნის კოეფიციენტი.

6) გამოითვლება საბაზო სტრუქტურების კავშირის ყველა არხების მზადყოფნის კოეფიციენტი;

7) საბაზო სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის განისაზღვრება წარმოქმნილი “მარყუქის” მზადყოფნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

8) განისაზღვრება “მარყუქის” მზადყოფნის კოეფიციენტი, წარმოქმნილი არასაიმედო არხებისაგან.

9) სწარმოებს s -ური “მარყუქის” დუბლირების აუცილებლობის შეფასება.

10) განისაზღვრება გზების (კავშირიანობის) საჭირო რიცხვი კვანძების (სააბონენტო სადგურების) თითოეული a_t და a_s წყვილისათვის.

11) წარმოებს მე-10 პუნქტში გათვლილი კავშირიანობის მნიშვნელობის უზრუნველყოფის შემოწმება.

12) განისაზღვრება დანახარჯები განსახილველი საბაზო სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის.

13) საბაზო სტრუქტურის შესაძლო ვარიანტებიდან ამოირჩევა ის, რომელიც ხასიათდება ნაკლები დანახარჯებით კავშირის არსების საერთო გაჭიმულობაზე, რომელსაც გააჩნია არხის გამტარუნარიანობის საჭირო მნიშვნელობა.

14) წარმოებს ქსელში შეტყობინებების დროული ჩაბარების პირობა.

ბაზური ვარიანტის ამორჩევის შემდეგ გაითვლება ქსელური სტრუქტურის ოპტიმიზაციის მეთოდით.

ქსელის სტრუქტურის მეთოდითა შეიცავს ეტაპების შემდეგ თანმიმდევრობას პაკეტებისა და შეტყობინებების კომუტაციის რეჟიმში ქსელის მუშაობისათვის:

1. არხებში ინფორმაციის ჩაბარების მოცემული $T_{ჩაბi}$ დროის მცირე მნიშვნელობებისა და დატვირთვის დიდი მნიშვნელობის დროს ზუსტდება C_i გამტარუნარიანობების სიდიდეები, რომლებიც განსაზღვრული არიან მე-5 პუნქტში (ბაზური სტრუქტურის გათვლისას) კავშირის არხების გამტარუნარიანობების შესარჩევად დისკრეტული დიაპაზონიდან ამოირჩევა რეალური მნიშვნელობები.

2. ხდება არხების მზადყოფნის კოეფიციენტის მნიშვნელობის განსაზღვრა

3. კვანძების თითოეული a_t და a_s წყვილისათვის განისაზღვრება მწყობრიდან ერთდროული გამოსვლის სისშირე შემდეგი ფორმულით:

$$Z_{ა.გ.M_s} = \sum_{s=1}^{M_s} \frac{1}{t_{bs}} \prod_{i=1}^{M_s} (1 - K_{აsi}) \quad (S = 1, 2, \dots, M_s) \quad (28)$$

4. განისაზღვრება a_t და a_s კვანძების თითოეული წყვილისათვის მწყობრიდან გამოსული გზის მტყუნების აღმოფხვრის საშუალო დრო შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{\tau}_{ა.გ.M_s} = \left[\sum_{bc} \frac{1}{t_{bc}} \right]^{-1} \quad (29)$$

5. განისაზღვრება დაყოვნების საშუალო დრო ძირითადი გზის თითოეულ, აბსოლუტურად საიმედო i -ურ არხში a_t და a_s კვანძების თითოეული წყვილისათვის შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{T}_{is} = \bar{w}_{is} + \frac{\rho_i}{\lambda_i} \quad (30)$$

სადაც \bar{w}_{is} – i -ური არხით შეტყობინებების უპრიორიტეტო გადაცემაზე რიგში ლოდინის საშუალო დროა, რომელიც განისაზღვრება s -ური გზისათვის შემდეგი გამოსახულებით:

$$\bar{w}_{is} = \frac{\sum_{l=1}^{K'} \rho_{l_i} \cdot \bar{\tau}_{l_i}^c (1 + K_{l_i}^2)}{2 \left(1 - \sum_{l_3}^{K_3} \rho_{l_3 i} \right) \left(1 - \sum_{l=1}^{K'} \rho_{l_i} \right)} \quad (31)$$

სადაც K' – პრიორიტეტული და არაპრიორიტეტული არაერთგვაროვანი ნაკადების საერთო რაოდენობაა, რომლებიც მიეწოდება s -ური გზის i -ურ არხს;

6. განისაზღვრება ქსელში შეტყობინებების ჩაბარების დროის საშუალო მნიშვნელობა $T_{ჩაბ}$ ფორმულით:

$$\bar{T}_{ჩაბ} = \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{\gamma} \bar{T}_i \quad (32)$$

სადაც, $T_{ჩაბ} \leq T_{ჩაბ.შ}$

7. განისაზღვრება თითოეულ s -ურ არხში საშუალო დაყოვნების დრო, არხების შესაძლო მტყუნებათა გათვალისწინებით, ფორმულით $\bar{T}_{is} + \Delta \bar{T}_{ჩაბ.i}$ რომელის მნიშვნელობაც ნაკლები ან ტოლი უნდა იყოს $\Delta \bar{T}_{ჩაბ.i}$ -ის.

8. განისაზღვრება ოპტიმალური კავშირიანობა M_{\min} (კვების ან არხების ოპტიმალური რიცხვი) ქსელის ყველა a_t და a_s წყვილს შორის $Z_{მ.გ.M_s}$ და $\bar{\tau}_{მ.გ.M_s}$ გათვლების საფუძველზე და შეირჩევა მათი ისეთი მნიშვნელობა, რომელიც უზრუნველყოფს ტოლობას

$$\bar{T}_{is} + \Delta \bar{T}_{ჩაბ.i} = T_{ჩაბ.შ.i} \quad (33)$$

9. M_{\min} მნიშვნელობებისათვის ზუსტდება არხების მზადყოფნის ოპტიმალური K_{g_i} კოეფიციენტების სიდიდეები.

10. განისაზღვრება დანახარჯები ქსელის შექმნილ სტრუქტურაზე ფორმულით

$$U_{\text{ღირ}} = \sum_{j=1}^{M_{\text{ს.ს}}} U_{\text{ს.ს}_j} + \sum_{i=1}^{M_g} U_{\text{კ.ა}_i}(l_i, c_i) + \sum_{k=1}^{M_{\text{გ}}} U_{\text{კ.ა}_k}(l_k, c_k) \quad (34)$$

სადაც, $U_{\text{ს.ს}_j}$ – კომუტაციის ან კონცენტრაციის (სააბონენტო სადგურის) j -ური კვანძების ღირებულება; $M_{\text{ს.ს}}$ – ქსელში გამოყენებული სააბონენტო სადგურების რაოდენობა; $U_{\text{კ.ა}_i}(l_i, c_i)$ – კავშირის მაღალსიჩქარიანი არხების ღირებულება მათ გაჭიმულობასა და გამტარუნარიანობასთან დამოკიდებულებით; M_g – ქსელში მაღალსიჩქარიანი არხების რაოდენობა, რომლებიც აერთებენ ერთმანეთთან სააბონენტო სადგურებს; $U_{\text{კ.ა}_k}(l_k, c_k)$, – კავშირის დაბალსიჩქარიანი არხების ღირებულება მათ გაჭიმულობასა და გამტარუნარიანობასთან დამოკიდებულებით; $M_{\text{გ}}$ – ქსელში დაბალსიჩქარიანი არხების რაოდენობა, რომლებიც გამოიყენება სააბონენტო პუნქტების სააბონენტო სადგურებთან და სააბონენტო სადგურების ერთმანეთთან მისაერთებლად.

დანახარჯების მიღებული სიდიდე შედარდება ხისმაგვარ და საბაზო სტრუქტურებზე დანახარჯებთან. ამ დანახარჯების სხვაობა ახასიათებს შექმნილი სტრუქტურის ეფექტურობას.

ყოველივე ამ განსაკუთრებულობების გათვალისწინებით ჯერ აიგება ქსელის ხისმაგვარი სტრუქტურა, შემდეგ საბაზო, ხოლო ბოლოს კი ეს უკანასკნელი ოპტიმიზირდება იმ თანმიმდევრობით, რომელიც განხილულია აღნიშნულ პარაგრაფში

დასკვნა

თეორიული და პრაქტიკული შედეგები

სადისერტაციო ნაშრომში მიღებულია შემდეგი მეცნიერული და პრაქტიკული შედეგები:

1. არსებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე შესრულებულია მომსახურე სისტემის მტყუნებათა კლასიფიკაცია; გაანალიზებულია დისკრეტული ინფორმაციის გადაცემის დროს შეცდომების აღძვრის ხასიათი, მტყუნებადმდგრადი მონაცემთა გადაცემის არხების შექმნის პრობლემები, საიმედოობისა და სარწმუნოობის ამაღლების მეთოდები, ზოგიერთი გადაუწყვეტელი საკითხების თანამედროვე მდგომარეობა და მოცემულია მათი გადაწყვეტის გზები.

2. დამუშავებულია კავშირის არხის ახალი მათემატიკური მოდელები მდგრადი მტყუნებისა და თვითლიკვიდრებადი მტყუნებების გათვალისწინებით, რომელიც ორიენტირებულია ამოცანის შესრულების დროის მინიმიზაციისაკენ. განხილულია დავალების შესრულების (გამოთვლების) მაღალ ეფექტურად მართვის ორგანიზაციის ხერხი, რომელიც მაქსიმალურს ხდის გამტარუნარიანობას.

ამ მოდელებში შესასრულებელი დავალების მოცულობა და აღდგენის დრო წარმოადგენს შემთხვევითი სიდიდეს ნებისმიერი განაწილების კანონით, ხოლო მტყუნებათა და შეფერხებათა ნაკადები ემორჩილება პუასონის კანონს.

3. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები ქსელში პაკეტის ჩაბარების რეალური დროის შეფასებისათვის კავშირის არხებზე წარმოქმნილი შეცდომების გავლენის დროს.

4. დამუშავებულია ნებისმიერი დანიშნულების ეფექტური სტრუქტურების გათვლის მეთოდიკა, რომელიც მოიცავს სამ თანმიმდევრობით ეტაპს: კავშირის არხების მინიმალური გაჭიმულობის მქონე ქსელის ხისმაგვარი სტრუქტურის გათვლა, ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა და მონაცემთა მიმღებ-გადამცემი ქსელის ეფექტური სტრუქტურის გათვლა.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ სამეცნიერო სტატიებში:

1. V. Adamia, N. Arabuli. Protection of Data in Networks. XI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. 2010 г., г. Красноярск. с.43-44.

2. В. Адамия, Н. Арабули. Технология передачи голоса по IP. Georgian engineering News, 2007, №2, ISSN 1512-0287. p.138-140;

3. В. Адамия, Н.В. Мачаварияни, Л. Ш. Элиаури, Н. Арабули. Криптографическая защита информации в локальной сети. Georgian engineering News, 2007, №3, ISSN 1512-0287. p.106-110;

4. V. Adamia., N. Arabuli. Protection of Information In Compiuter Networks. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. შრომები. ISSN1512-0996 N3(465). 2007. გვ. 34-37;

5. В. Адамия, Н. Арабули, Л. Ш. Элиаури. Об одном методе определения предельного интервального коэффициента готовности. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008“ მოხსენებათა კრებული. 2008. გვ. 169-172.

6. В. Адамия. Технология беспроводной связи. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008“ მოხსენებათა კრებული. გვ. 275-277. 2008

7. В. Адамия, Н. Арабули, Л. Ш. Элиаури. Определение коэффициента производительности технической системы с учетом ее надежности. პირველი ყოველწლიური საერთაშორისო კონფერენცია. მიმდინარე გამოწვევები ცოდნის მართვაში - „ცოდნა ცხოვრებისათვის“. გორის უნივერსიტეტი. საქართველო 2008. გვ. 52-54.

8. R. Xurodze, R. Kakubava, V. Adamia, N. Jojua. On the Downtime of Some Standby Systems. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. შრომები 2010. (ჩაშვებულია გამოსაცემად).