

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Ingineria Software și Automatică**

**Admis la susținere
Șef departament:
FIODOROV Ion dr., conf.univ.**

„___” _____ 2025

ABORDAREA MONTE-CARLO A FIABILITĂȚII REȚELELOR DE TIP PUNTE

Proiect de master

Student: _____ Cebotar Gabriela, TI-231M

Coordonator: _____ Leahu Alexei, doctor, prof. univ.

Consultant: _____ Cojocaru Svetlana, asist.univ.

Chișinău, 2025

REZUMAT

Lucrarea este structurată în trei capitole principale, care abordează atât aspectele teoretice, cât și cele practice ale analizei fiabilității rețelelor de tip punte. Aceasta urmărește să ofere o înțelegere aprofundată a subiectului, prin prezentarea conceptelor fundamentale și aplicarea unor metode de simulare și calcul, contribuind astfel la optimizarea structurii rețelelor complexe în contexte variate.

În primul capitol sunt prezentate fundamentele teoretice necesare pentru înțelegerea fiabilității rețelelor. Acesta începe cu analiza metodologiilor utilizate în evaluarea fiabilității și a dinamicii funcționale a rețelelor, descriind stările și conexiunile ce determină performanța acestora.

Capitolul detaliază apoi modelarea probabilistă, un instrument esențial în evaluarea fiabilității, care permite o abordare matematică a rețelelor. Este explorată și fiabilitatea dinamică, analizată prin comportamentul rețelelor în timp, evidențiind factorii ce influențează performanța acestora. De asemenea, este introdusă metoda Monte-Carlo, subliniindu-se importanța sa în simularea scenariilor complexe.

Capitolul continuă printr-o descriere detaliată a instrumentelor și platformelor software utilizate, cum ar fi limbajele de programare, bibliotecile specifice și alte tehnologii relevante, care facilitează implementarea metodelor de analiză.

Al doilea capitol se concentrează pe partea practică a cercetării, descriind metodele de calcul al fiabilității teoretice și dinamice pentru rețelele de tip punte. Sunt abordate tehnici bazate pe distribuții statistice, precum distribuția exponențială și Weibull, care permit obținerea unor estimări precise și adaptate diferitelor condiții de utilizare.

Capitolul include și analiza unui caz particular al unei rețele modificate de tip punte, unde algoritmi dezvoltați sunt aplicați pentru a demonstra eficiența metodei Monte-Carlo. Această parte evidențiază modul în care aceste metode pot fi utilizate pentru a anticipa și preveni defecțiunile în rețele complexe, contribuind la creșterea performanței și fiabilității acestora.

În cadrul la cel de-al treilea capitol a fost determinat numărul optim de simulări necesare pentru obținerea unor estimări a fiabilității dinamice a rețelelor, utilizând Teorema Limitei Centrale. Această metodă a permis calcularea intervalelor de încredere și a marjei de eroare pentru diverse valori ale ratei de defectare. În baza acestor calcule, s-a demonstrat că numărul optim de simulări variază în funcție de parametrul distribuit, asigurând o echilibrare eficientă între acuratețe și resursele computaționale necesare.

Lucrarea se încheie cu un set de concluzii, care sintetizează principalele rezultate obținute în urma cercetării. Sunt evidențiate contribuțiile aduse în domeniul analizei fiabilității rețelelor de tip punte, precum și relevanța practică a metodei Monte-Carlo pentru optimizarea infrastructurilor complexe. Concluziile subliniază, de asemenea, importanța acestei cercetări în deschiderea unor noi direcții de studiu, oferind o bază pentru dezvoltarea ulterioară a metodelor utilizate în analiza fiabilității.

ABSTRACT

The paper is structured into two main chapters, which address both the theoretical and practical aspects of analysing the reliability of bridge-type networks. It aims to provide a comprehensive understanding of the subject by presenting fundamental concepts and applying advanced simulation and calculation methods, thereby contributing to the optimisation of complex network structures in various contexts.

The first chapter presents the theoretical foundations necessary for understanding network reliability. It begins with an analysis of the methodologies used to evaluate reliability and the functional dynamics of networks, describing the states and connections that determine their performance. The chapter then details probabilistic modelling, an essential tool in reliability evaluation, which enables a rigorous mathematical approach to networks. Dynamic reliability is also explored, analysing the behaviour of networks over time and highlighting the factors influencing their performance. Additionally, the Monte Carlo method is introduced, with its importance in simulating complex scenarios being emphasised. The chapter continues with a detailed description of the tools and software platforms used, including programming languages, specific libraries, and other relevant technologies that facilitate the implementation of analysis methods.

The second chapter focuses on the practical part of the research, describing the methods for calculating the theoretical and dynamic reliability of bridge-type networks. Techniques based on statistical distributions, such as the exponential and Weibull distributions, are discussed in detail, allowing for precise estimates tailored to various usage conditions. The chapter also includes the analysis of a specific case involving a modified bridge-type network, where the developed algorithms are applied to demonstrate the effectiveness of the Monte Carlo method. This section highlights how these methods can be used to anticipate and prevent failures in complex networks, contributing to improved performance and reliability.

In the third chapter, the optimal number of simulations required to obtain reliable estimates of the dynamic reliability of networks was determined using the Central Limit Theorem. This method allowed for the precise calculation of confidence intervals and margins of error for various values of the failure rate. Based on these calculations, it was demonstrated that the optimal number of simulations varies depending on the distributed parameter, ensuring an efficient balance between accuracy and the computational resources required.

The work concludes with a set of findings that summarize the main results obtained through the research. The contributions to the field of bridge network reliability analysis are highlighted, along with the practical relevance of the Monte Carlo method for optimizing complex infrastructures. The conclusions also emphasize the importance of this research in opening new avenues for study, providing a foundation for the further development of methods used in reliability analysis.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1 CADRUL CONCEPTUAL AL STUDIULUI FIABILITĂȚII ÎN REȚELELE DE TIP PUNTE	8
1.1 Evoluția metodelor de evaluare a fiabilității rețelelor	9
1.2 Dinamica funcțională a rețelelor: stări, conexiuni și reprezentări grafice	10
1.3 Modelarea probabilistă în evaluarea fiabilității rețelelor	13
1.4 Fiabilitatea dinamică a rețelelor	16
1.5 Aplicarea simulărilor Monte Carlo în analiza fiabilității rețelelor.....	16
1.6 Instrumente și tehnologii pentru simularea fiabilității rețelelor.....	19
1.6.1 Limbaje și biblioteci utilizate în simulările de fiabilitate	19
1.6.2 Importanța generatoarelor de numere aleatorii în simulări.....	20
1.6.3 Platforme software dedicate cercetării fiabilității	21
1.6.4 Algoritmi personalizați versus software specializat.....	23
2 SIMULAREA ȘI ANALIZA FIABILITĂȚII REȚELELOR	24
2.1 Calculul fiabilității teoretice.....	25
2.2 Estimarea fiabilității dinamice utilizând distribuția exponențială.....	27
2.3 Estimarea fiabilității dinamice utilizând distribuția Weibull	32
2.4 Analiza fiabilității unei rețele modificate de tip punte.....	34
3 ESTIMAREA NUMĂRULUI OPTIM DE SIMULĂRI	37
3.1 Determinarea numărului optim de simulări pentru evaluarea fiabilității dinamice	38
3.2 Evaluarea fiabilității pentru numărul optim de simulări	40
CONCLUZII	42
BIBLIOGRAFIE.....	43

INTRODUCERE

Această lucrare explorează problematica fiabilității rețelelor de tip punte. În contextul infrastructurilor de comunicații, fiabilitatea reprezintă o preocupare centrală, iar abordările probabilistice oferă instrumentele necesare pentru a înțelege modul în care rețelele funcționează în fața defecțiunilor și variabilității componentelor.

Studiul se axează pe utilizarea variabilelor aleatorii și a distribuțiilor probabilistice pentru a modela stările de funcționare și defectare ale nodurilor și muchiilor din rețea, oferind o imagine detaliată asupra contribuției fiecărei componente la fiabilitatea generală a rețelei. Fiecare componentă poate fi descrisă printr-o variabilă binară care indică dacă aceasta este funcțională sau defectă.

Această reprezentare permite explorarea tuturor combinațiilor posibile de stări ale componentelor, facilitând astfel identificarea căilor funcționale dintre nodurile terminale. Metodologia probabilistică folosită face posibilă evaluarea fiabilității rețelei în scenarii complexe, unde modul de funcționare a fiecărei componente individuale influențează direct conectivitatea globală și, implicit, performanța generală a sistemului.

Pe lângă avantajele aduse de analiza probabilistică, studiul subliniază și limitările metodelor analitice aplicate rețelelor de dimensiuni mai mari. În cazul rețelelor de mici dimensiuni, toate stările posibile pot fi calculate și analizate în mod direct. Totuși, odată cu creșterea complexității rețelei, analiza completă devine impracticabilă. În astfel de situații, metode precum căile minime și tăieturile minime sunt utilizate pentru a identifica configurațiile critice ale rețelei, care joacă un rol esențial în menținerea conectivității și prevenirea defecțiunilor.

Un element important al cercetării este studiul utilizării simulărilor Monte Carlo pentru evaluarea fiabilității rețelelor complexe. Această metodă permite generarea unui număr mare de scenarii aleatorii, în care diferitele stări de funcționare și defectare ale componentelor sunt simulate pe termen lung. Astfel, simulările Monte Carlo devin un instrument esențial pentru analiza fiabilității în rețele mari și complexe, unde metodele analitice tradiționale sunt impracticabile.

Teorema Limită Centrală garantează că, atunci când un număr mare de simulări sunt efectuate, distribuția mediei rezultatelor va convergi spre o distribuție normală, indiferent de distribuția inițială a datelor. Utilizarea Teoremei Limită Centrală în contextul simulărilor Monte Carlo permite determinarea unui interval de încredere precis pentru rezultate, ajutând cercetătorii să stabilească cât de multe simulări sunt necesare pentru a obține rezultate reprezentative.

Această lucrare oferă un cadru teoretic solid și extinde cunoștințele existente în domeniul fiabilității rețelelor de tip punte, propunând direcții noi de cercetare pentru optimizarea și dezvoltarea unor modele mai complexe. De asemenea, furnizează un fundament pentru dezvoltarea de soluții aplicabile în diferite contexte operaționale.

BIBLIOGRAFIE

1. REBAIAIA, Mohamed-Larbi. A Practical Method for Evaluating the Reliability of Telecommunication. In: *Communications in Computer and Information Science*, 2012, pp. 63-77.
2. BARLOW, R.E., PROSCHAN, F. *Mathematical Theory of Reliability*. New York: Wiley, 1996.
3. RAUSAND, M., HOYLAND, A. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. 2nd Ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2004.
4. ZIO, E., PEDRONI, N. Reliability Estimation by Advanced Monte Carlo Simulation. In: *Springer*, 2010. DOI: 10.1007/978-1-84882-213-9_1.
5. DENG, Jian, GU, Desheng, LI, Xibing și YUE, Zhongqi. Structural reliability analysis for implicit functions using artificial neural networks. In: *Structural Safety*, 2005, pp. 25-48.
6. LEAHU, A., PÂRȚACHI, I. *Probabilități și Statistică Matematică, Partea 1: Probabilități*. Chișinău, 2022, pp. 9-13. ISBN 978-9975-155-91-5.
7. GERTSBAKH, I. , SHPUNGIN, Y., OTTAWA, *Reliability: a Lecture Course*, Tel-Aviv, 2020.
8. WEIBULL, W. *The Statistical Theory of the Strength of Materials*. Stockholm, 1939.
9. KROESE, Dirik P., BRERETON, Tim, TAIMRE, Tomas, BOTEV, Zdravko I. *Why the Monte Carlo method is so important today*. WIREs Comput Stat, 2014.
10. CEBOTAR, G., Evoluția și Perspectiva Generatoarelor De Numere Pseudoaleatorii: De la Origini la Quantum, In: *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*. Chișinău, 2024. Universitatea Tehnică a Moldovei. Vol. 1., pp.376-379.
11. REBAIAIA, M-L. *Network Reliability Evaluation and Optimization: Methods, Algorithms and Software Tools*. Laval University, Canada, 2013.
12. LEAHU, A., PÂRȚACHI, I. *Probabilități și Statistică Matematică, Partea 1: Probabilități*. Chișinău, 2022, pp. 140-146. ISBN 978-9975-155-91-5.