

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII
MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Electronică și Telecomunicații
Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice**

**Admis la susținere
Șefă departament TSE:
Tîrșu Valentina, conf. univ., dr.**

20 ianarie 2025

Analiza arhitecturilor de rețea 5G pe baza modelului sistemului de servicii în masă

Teza de master

Student:

Chivniuc Alexandru

gr. SCE – 231M

Conducător:

Șestacova Tatiana

conf. univ., dr.

Chișinău, 2025

REZUMAT

Autorul: Chivniuc Alexandru, gr. SCE - 231M

Tema: Analiza arhitecturilor de rețea 5G pe baza modelului sistemului de servicii în masă.

Structura lucrării: constă din pagini de titlu, aviz, rezumat, introducere, 3 capitole, concluzii, bibliografia.

Cuvinte cheie: rețeaua mobilă, a cincea generație, trafic, sistema de servicii în masă.

Problematika studiului: Analiza arhitecturilor de rețea de generația a 5-a bazată pe modelul sistemului de așteptare.

Scopul lucrării: Analiza arhitecturilor de rețea de generația a 5-a bazată pe un model de sistem de așteptare care permite luarea în considerare a probabilităților de apariție a abonaților care lucrează simultan.

Obiectivele:

1. Analiza generală a tehnologiei 5G;
2. Efectuarea unei analize tehnologiilor aplicate în arhitectura 5G;
3. Studiarea caracteristicilor principali ale rețelei de a cincea generație;
4. Dezvoltarea unui model analitic de rețele 4G/5G ca sistem de așteptare cu utilizarea comună a resurselor (PS);
5. Pe baza modelului elaborat, de identificat principalele caracteristici pentru utilizatorii de telefonie mobilă din interiorul și din afara rețelei celulare;
6. Dezvoltarea unui model de simulare în mediul MatLab.

Metode aplicate: Principalele caracteristici ale rețelei 5G ca model de sistem de așteptare au fost studiate analitic și în mediul Matlab.

Rezultatele obținute: Folosind modelul de sistem propus cu ajutorul unui simulator de evenimente discret asamblat în Simulink Matlab, a fost realizată o analiză comparativă a calculelor analitice ale parametrilor modelului cu rezultatele simulării.

S-a arătat că capacitatea medie de transmisie a utilizatorilor, probabilitatea de transmisie a serviciului și timpul de ședere al utilizatorilor în celula examinată în funcție de viteza totală a noilor conexiuni, obținute pe cale analitică, nu diferă practic de rezultatele simulării (eroarea relativă medie este de aproximativ 8%).

SUMMARY

Author: Chivniuc Alexandru, gr. SCE-231M

Title: Analysis of 5G network architectures based on the mass service system model.

Thesis structure: consists of title pages, Review, Summary, Introduction, Conclusions, Bibliography.

Key words: mobile network, fifth generation, traffic, mass service system.

Research problem: Analysis of correlation properties of noise-like signals based on derivatives of Walsh functions for multichannel data transmission systems.

Thesis purpose: Analysis of 5th generation network architectures based on a queuing system model that allows taking into account the probabilities of the appearance of simultaneously operating subscribers.

Objectives:

1. Perform an analysis of the current state of the 5G network;
2. Conduct an analysis of the basic principles of 5G architecture;
3. Study the main features of the fifth-generation network;
4. Develop an analytical model of 4G/5G networks as standby system with resource sharing (PS);
5. Based on the developed model, identify the main characteristics for mobile phone users inside and outside the cellular network;
6. Develop a simulation model in the MatLab environment.

Applied methods: The main characteristics of the 5G network as a model of a queuing system were studied analytically and in the environment Matlab.

The obtained results: Using the proposed system model with the discrete event simulator assembled in Simulink Matlab, a comparative analysis of the analytical calculations of the model parameters with the simulation results was performed.

It was shown that the average user throughput, the probability of handover and the time of stay of users in the cell under consideration depending on the total rate of new connections, obtained analytically, are practically no different from the simulation results (the average relative error is approximately 8%).

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1 ANALIZA GENERALĂ A TEHNOLOGIEI 5G	10
1.1 Dezvoltarea tehnologiilor de comunicații mobile de la 3 G la 5G.....	10
1.2 Organizațiile principale de standardizare din a cincea generație.....	12
1.3 Principiul de funcționare și parametrii rețelelor 5G.....	13
1.4 Tehnologii și benzi de frecvență utilizate pentru standardul 5G.....	15
1.5 Scenarii pentru furnizarea serviciilor de comunicații mobile în rețelele 5G.....	20
1.6 Opțiuni pentru utilizarea noii tehnologii.....	21
1.7 Arhitectura rețelei de bază a tehnologiei 5G (CoreNetwork)	23
2 ANALIZA ARHITECTURII DE REȚEA 5G UTILIZÂND MODELUL SISTEMULUI DE SERVICII ÎN MASĂ	26
2.1 Arhitectura sistemului de comunicații de generație 5G.....	26
2.2 Soluții tehnologice ale sistemului de comunicații wireless 5G.....	29
2.3 Analiza schemei și implementării 5G.....	32
2.4 Cercetare în arhitectura rețelei 5G.....	36
2.4.1 Compoziția și scopul componentelor diagramei de rețea 5G.....	36
2.4.2 Modelarea canalelor într-o rețea 5G	39
3 MODEL DE PERFORMANȚĂ PENTRU REȚELELE 5G, LUÂND ÎN CONSIDERARE MOBILITATEA UTILIZATORILOR ÎN INTERIORUL ȘI ÎNTRE CELULE	44
3.1 Metode de modelarea performanței pentru rețele 5G.....	44
3.2 Ipoteze despre sistem și fluxul de trafic.....	45
3.3 Mode IPS.....	47
3.4 Limite de performanță.....	52
CONCLUZII	60
BIBLIOGRAFIE	62

INTRODUCERE

Dezvoltarea economiei digitale este rezultatul unei combinații a celor patru principale factori de dezvoltare: tehnologia, nivelul serviciilor conexe (inclusiv crearea conținutului și managementul rețelelor de sisteme ciber-fizice în producție), dezvoltarea afacerii (prin generare și modernizarea a proceselor de afaceri) și cultura digitală a utilizatorilor.

Tehnologiile și nivelul serviciilor conexe sunt esențiale pentru fundamentul infrastructurii economiei digitale. Infrastructura economiei digitale trebuie să fie distribuită proporțional cu perspectivele de dezvoltare și provocările actuale, asigurând standarde înalte de calitate a serviciilor la toate nivelurile pentru dezvoltarea dinamică a economiei digitale a țării.

Principalele provocări tehnologice ale economiei digitale pot fi: realizarea implementării în masă și a conexiunii la rețea a dispozitivelor ciber-fizice clasificate ca Internet of Things (IoT) și machine-to-machine (M2M), cu o densitate de plasare de 300 mii. de dispozitive per celulă la 1 milion de dispozitive pe 1 sq. km, precum și crearea de conexiuni extrem de fiabile între dispozitivele ciber-fizice cu o întârziere de până la 1 ms pentru serviciile IoT și M2M în timp real.

Aceste provocări sunt planificate a fi depășite prin dezvoltarea capacităților tehnologice ale rețelelor 5G și ale Internet of Things până la 5G. Până la sfârșitul anului 2023, peste 261 de operatori au lansat rețele 5G comerciale la nivel mondial, deservind peste 1,6 miliarde de milioane de conexiuni. Numărul de dispozitive abonate 5G anunțate în 2022 a crescut până la 1.334 de dispozitive. Până la sfârșitul anului 2023, cel puțin 1.886 de dispozitive de abonat 5G au devenit disponibile comercial pe piață. Numărul total de producători, care au stabilit producția în serie sau pilot de dispozitive de abonat 5G în lume în 2023 a ajuns la 255. Aceștia au anunțat producția a peste 2.700 de dispozitive de abonat 5G.

În 2021, numărul de procesoare și platforme mobile lansate pentru rețelele 5G New Radio (NR) a crescut cu 144%, dar numărul de modeme 5G lansate a crescut cu 85%. Creșterea a continuat în 2022, numărul de procesoare mobile lansate în primul trimestru s-a majorat cu 81% față de anul precedent, iar numărul de modeme 5G cu 42%.

Tehnologia 5G reprezintă o evoluție suplimentară a generației mobile 5G dincolo de faza actuală de dezvoltare 5G/IMT-2020, care crește funcționalitatea, ratele de date și alte cerințe tehnice în comparație cu tehnologia 5G, versiunile 15-17). Se presupune ca

5G să ofere nu numai o tehnologie, ci și o platformă inteligentă în combinație cu utilizarea inteligenței artificiale, oferind acces radio ultrarapid, latență scăzută și comunicații mobile mai fiabile, capabile să facă față cerințelor tot mai mari de date ale economiei digitale.

Implementarea tranziției la rețelele de acces 5G va necesita introducerea de principii noi de utilizare a spectrului de frecvențe radio și obținerea de noi atribuiri de frecvență în benzile de frecvență a undelor milimetrice, crearea unei infrastructuri de rețea 5G virtualizate, bazată pe tehnologia și infrastructura eterogenitatea și introducerea modelelor de afaceri concentrate pe utilizarea în masă a serviciilor M2M și IoT (uRLLC și mMTC).

Capacitatea jucătorilor de pe piață de a genera noi afaceri bazate pe infrastructura tehnologică a rețelelor 5G va crea un efect multiplicator în economia digitală. Cu cât procesele de afaceri din economia digitală sunt conectate la tehnologiile 5G, cu atât se vor face mai multe investiții în aceste tehnologii și servicii, care la rândul lor vor oferi noi oportunități de dezvoltare a afacerilor și perspective tehnologice.

Doar în primele șase luni ale anului 2023, lumea mobilă a înregistrat 331 de milioane de conexiuni noi uimitoare.

Abonații 5G, ducând numărul total de astfel de conexiuni la un impresionant 1,6 miliarde până la sfârșitul anului 2023.

În cei șase ani de la sfârșitul anului 2023 până în 2029, se estimează că numărul de abonați la nivel global 5G va crește cu peste 330%, de la 1,6 miliarde la 5,3 miliarde. Se estimează că acoperirea 5G va atinge peste 45% din populația lumii până la sfârșitul anului 2023 și 85% până la sfârșitul lui 2029.

Implementarea și trecerea la o nouă rețea reprezintă este un proces lung de instalare a infrastructurii și pregătirea materialelor necesare. Știrile despre dezvoltarea 5G sunt cunoscute de mult timp, dar abia acum rețeaua a început să fie testată și utilizată în scopuri comerciale. Același lucru s-a întâmplat cu rețelele din generația anterioară. Restructurarea și trecerea masivă de la 2G la 3G, de la 3G la 4G (LTE) a durat mult timp pentru a se pregăti, deoarece a fost necesar să înțelegem cum trebuie să fie să distribuim și gestionăm rețeaua. Rețelele 5G au prea multă capacitate și putere pentru care planurile de acoperire a turnurilor trebuie ajustate și implementate în multe industrii. Prin urmare, trecerea la rețeaua de generația a 5-a nu va fi rapidă. Astăzi, telecomunicațiile sunt unul dintre obiectele importante ale infrastructurii de stat, dezvoltarea lor va face posibilă satisfacerea nevoilor în creștere ale societății, afacerilor și industriei. În jurul rețelei 5G se formează un ecosistem întreg, iar tehnologiile bazate pe comunicații de generație

următoare se vor dezvolta rapid în următorii ani. Tehnologiile 5G vor fi solicitate atât în rândul abonaților, cât și în întreprinderile de producție pentru implementarea diferitelor tipuri de management și control, monitorizare a echipamentelor și automatizare a proceselor. Rețeaua de generația a cincea este într-adevăr foarte necesară pentru tranziția la economia digitală. Aceasta include robotizarea producției, utilizarea drone-lor, asigurarea funcționării sistemelor oraș inteligent, precum și dezvoltarea tuturor tipurilor de servicii pentru consumatori, cum ar fi VR și video de calitate înaltă.

Cu toate acestea, în ciuda numeroaselor sale avantaje, rețelele de generația a cincea au limitări. De exemplu, în 5G avem de-a face cu unde milimetrice, mai scurte, care nu trec bine prin obstacole, astfel încât arhitectura rețelei se schimbă. În acest caz, trebuie să amplasați peste tot o mulțime de turnuri compacte, cu putere redusă. În plus, există un risc crescut de piraterie informatică, care poate afecta nu numai telefoanele și computerele personale, ci și noile sisteme inteligente de acasă. Este necesar să se asigure condițiile necesare pentru congestionarea rețelei atunci când crește numărul de abonați care lucrează simultan pe și în afara rețelei celulare.

Prin urmare, *scopul* tezei de master este de a analiza arhitecturile rețelelor de generația a 5-a pe baza unui model de sistem de așteptare, care să permită luarea în considerare a probabilităților de apariție a abonaților care lucrează simultan.

Pentru a atinge acest scop, este necesar să fie rezolvate următoarele *obiective*:

1. Analiza generală a tehnologiei 5G;
2. Efectuați o analiză principiilor de bază ale arhitecturii 5G;
3. Studiați caracteristicile principale ale rețelei de a cincea generație;
4. Dezvoltați unui model analitic de rețele 4G/5G ca sistem de așteptare cu utilizarea comună a resurselor (QS);
5. Pe baza modelului elaborați, identificați principalele caracteristici pentru utilizatorii de telefonie mobilă din interiorul și din afara rețelei celulare;
6. Dezvoltați un model de simulare în mediul MatLab.

BIBLIOGRAFIE

1. Christofer Larsson. 5G Networks Planning, Design and Optimization 1st Edition/ Academic Press. 2018 – 418 стр. ISBN: 10, 0128127074.
2. Tikhvinsky V.O., Terentyev S.V., Koval V.A. 5G mobile networks: technologies, architecture and services, Moscow, 2019. ISBN 978-5-903650-45-3.
3. Jonathan Rodriguez. Fundamentals of 5G Mobile Networks 1st Edition/ Wiley., 2015 – 334 стр. ISBN: 978-1-118-86747-1.
4. Bakulin M.G., Kreindelin V.B., Pankratov D.Yu. Technologies in radio communication systems on the way to 5G. Moscow: Goryachaya Liniya – Telecom, 2018. 280p. ISBN 978-5-9912-0689-1.
5. Hussain Sk.S. et al. An overview of massive MIMO system in 5G // International Science Press, I J C T A. 2016. P. 4957-4968. ISSN 2348-6988.
6. Ali M. A. Study of data transmission characteristics in the 5G system using Massive MIMO with different coding schemes // Modern technologies in science and education - STNO-2021. - 2021. - pp. 156-161. UDC: 004.733.
7. Stepanets, G. Fokin. Features of Massive MIMO implementation in 5G networks / First Mile., 2018 – 50 p. DOI: 10.22184/2070-8963.2018.70.1.46.52.
8. Ying, Z. Network function virtualization. Concepts and Applicability in 5G Networks / Z. Ying. – Wiley - IEEE Press. – 2017. – 192 p. ISBN: 978-1-119-39060-2.
9. Lokhvitsky M.S., Sorokin A.S., Shorin O.A. Mobile communications: standards, structures, algorithms, planning. Moscow: Hotline - Telecom, 2018. 264 p. ISBN 978-5-9912-0757-7.
10. Oleynikova, A. V. Prospects for the Development of 5G Communications / A. V. Oleynikova, M. D. Nurtai, N. M. Shmanov // Modern Materials, Engineering and Technology. - 2015. - P. 233-235. ISSN 2411-9792.
11. Volchkov, V. P. Capabilities of linear precoders for resource management and characteristics of MIMO systems [Text] / V. P. Volchkov, A. A. Shurakhov // Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Economics. Computer Science. - 2014. - P. 172-181. UDC 519.6.
12. Bakulin M.G., Varukina L.A., Kreindelin V.B. MIMO technology: principles and algorithms. Moscow: Goryachaya Liniya – Telecom, 2014. 242 p. ISBN: 978-5-9912-0457-6.

13. Tikhvinsky V.O., Terentyev S.V., Vysokhin V.P. Mobile communication networks LTE/LTE Advanced: 4G technologies, application and architecture. Moscow: Publishing house Media Publisher, 2014. 384 p. ISBN 978-5-903650-028-6.
14. Morozov K.D., Sorokin A.S. Comparative analysis of the efficiency of 4G and 5G mobile communication systems. - MTUCI, 2018 - pp. 1-9. ID: 36646468.
15. Roslyakov A. V., Poddubnov I. V. Virtualization in 5G networks // Information technology and information security in science, technology and education" INFOTECH-2019". - 2019. - pp. 114-117. UDC: 004.
16. Sun, S. A Novel Millimeter-Wave Channel Simulator and Applications for 5G Wireless Communications [Электронныйресурс] / S. Sun, G. R. MacCartney Jr., T. S. Rappaport. – 2017. DOI: 10.1109/ICC.2017.7996792.
17. Andreev, S. D. Flow control in heterogeneous mobile radio access networks with device-to-device MIMO connections [Text] / S. D. Andreev, K. E. Samoilov, A. M. Tyurlikov // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Mathematics, computer science, physics. - 2018. - P. 357-370.UDC 004.77.
18. Muthanna, A. S. D2D - communications in fifth-generation mobile networks 5G / A. S. Muthanna, A. E. Kucheryavy // Information technologies and telecommunications. - 2014. - No. 4. - P. 51-52.UDC 621.391.
19. Oshkina, E. V. SDN network technology (review, modern trends) [Text] / E. V. Oshkina // V Int. scientific conf. "Engineering Sciences: Problems and Prospects" - St. Petersburg, 2017. - P. 3-6.
20. Emzhaeva K. Modeling LoRaWAN in MatLab using Simulink. – M.: Poisk, No. 4-2019 (December). UDC: 001.5(083.95).
21. Kumaritova D. L., Kirichek R. V. Review and comparative analysis of LPWAN network technologies // Information technologies and telecommunications. 2016. Vol. 4. No. 4. P. 33–48. UDC: 004.735.
22. Tikhvinsky, V. O. 5G Networks: International Standardization / V. O. Tikhvinsky et al. // Connect. Wit. - 2017. - No. 1-2. - P. 52-58.ISSN 0013-5771.
23. Draft ITU-T Technical Report: Application of network softwarization to IMT-2020 (O-041).
24. 3GPP TS 26.511 Technical Specification Group Services and System Aspects; 5G Media Streaming (5GMS); Profiles, Codecs andFormats. – Disponibil: [https://portal.3gpp.org/desktopmodules/ Specifications](https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications).

25. TÎRȘU V., SAVA L., PETRUȚCA C. *Simulating the performance of 6g networks in urban and rural scenarios by using nysim 4.0*. În: Electrotehnica, Electronica, Automatica, vol.72/4, p.51-56. Romania, Sibiu: online ISSN: 2392-828X, categoria B+. Disponibil: <https://eea-journal.ro/articles-and-issues/current-issues/>
26. SAVA, L., VORTOLOMEI, D. Organizarea și analiza activității economice în domeniul telecomunicațiilor. Note de curs, Chișinău, Editura UTM, 2022, ISBN: 978-9975-45-805-4.
27. ȚURCAN, R., ȚURCANU, D., CIUBUC, A. The Impact of Internet Access on Economic Development. In: Conference Proceedings, The 5 th Economic International Conference „Competitiveness and Sustainable Development”, 2-3 November 2023, pp. 160-165. <https://doi.org/10.52326/csd2023.24>
28. SAVA L., TÎRȘU V., PLĂMĂDEALĂ C. *Performance evaluation of microtik routers according to electromagnetic compatibility testing standards*. În: Electrotehnica, Electronica, Automatica, vol.72/4, p.57-61. Romania, Sibiu: ISSN: 2392-828X, categoria B+. Disponibil: <https://eea-journal.ro/articles-and-issues/current-issues/>