

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Electronică și Telecomunicații

Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice

Admisă la susținere

Șefă departament:

Tîrșu Valentina, conf. univ., dr.

„_____” _____ 2024

Analiza parametrilor QoS pentru tehnologia 6G

Teză de master

Student:

**Petrușca Corina
gr. SISRC-221M**

Conducător:

**Cerbu Olga
conf. univ., dr.**

Chișinău, 2024

ADNOTARE

Autorul: Petrușca Corina gr. SISRC-221M

Tema: Analiza parametrilor QoS pentru tehnologia 6G

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

Cuvinte cheie: 6G, QoS, parametru, KPI, NYUSIM.

Problematica studiului: Investigarea specificităților dezvoltării parametrilor de calitate a serviciului în contextul tehnologiei 6G.

Scopul lucrării: Studierea și evaluarea caracteristicile parametrilor QoS oferți de tehnologia 6G, ținând cont de analiza componentelor fundamentale ale tehnologiei 6G, cercetarea indicatorilor de calitate a serviciilor 6G, precum și dezvoltarea unui model de simulare a canalelor wireless pentru evaluarea parametrilor QoS în rețelele 6G.

Obiectivele:

1. Studierea arhitecturii și funcționalității rețelelor 6G și impactul acestora asupra QoS;
2. Analiza serviciilor și tehnologiilor care contribuie la dezvoltarea QoS în cadrul rețelelor 6G;
3. Evaluarea și investigarea indicatorilor specifici de performanță (KPI - Key Performance Indicators);
4. Analizeza parametrilor QoS pentru 6G și soluțiilor pentru îmbunătățirea calității serviciilor oferite de această tehnologie;
5. Dezvoltarea modelelor de simulare a canalelor wireless pentru 6G în scenariile UMi și RMa pentru evaluarea performanței rețelei și a parametrilor QoS.

Metode aplicate: Au fost utilizate metode analitice pentru a analiza caracteristicile parametrilor QoS oferți de tehnologia 6G.

Rezultatele obținute: Sunt avizate investigarea parametrilor QoS pentru tehnologia 6G, evaluarea detaliată a caracteristicilor fundamentale și a soluțiilor potențiale. Analizarea serviciilor și capacităților 6G a fost integrată în cadrul funcțional al sistemului. Prin studiul KPI și integrarea inteligenței artificiale, se furnizează o perspectivă amplă asupra performanței 6G. În cadrul aspectului practic, au fost dezvoltate simulări în NYUSIM 4.0 pentru evaluarea parametrilor QoS în rețelele 6G, contribuind astfel la o înțelegere mai profundă a impactului acestora asupra rețelelor wireless în era tehnologică avansată.

ANNOTATION

Author: Petrușca Corina gr. SISRC-221M

Title: Analysis of QoS parameters for 6G technology

Thesis structure: consists of title, opinion, abstract, introduction, 3 chapters, conclusions and bibliography pages.

Key words: 6G, QoS, parameter, KPI, NYUSIM.

Research problem: Investigating the specifics of QoS parameter development in the context of 6G technology.

Thesis purpose: Studying and evaluating the characteristics of QoS parameters provided by 6G technology, taking into account the analysis of fundamental components of 6G technology, researching 6G QoS indicators, and developing a wireless channel simulation model for evaluating QoS parameters in 6G networks.

Objectives:

1. Study the architecture and functionality of 6G networks and their impact on QoS;
2. Analysis of services and technologies contributing to the development of QoS in 6G networks;
3. Evaluation and investigation of specific Key Performance Indicators (KPIs);
4. Analyse QoS parameters for 6G and solutions to improve the quality of service offered by this technology;
5. Develop wireless channel simulation models for 6G in UMi and RMa scenarios to evaluate network performance and QoS parameters.

Applied methods: Analytical methods were used to analyse the characteristics of the QoS parameters provided by 6G technology.

The obtained results: Investigation of QoS parameters for 6G technology, detailed evaluation of fundamental characteristics and potential solutions are endorsed. The analysis of 6G services and capabilities has been integrated into the functional framework of the system. Through the study of KPIs and the integration of artificial intelligence, a broad perspective on 6G performance is provided. As part of the practical aspect, simulations in NYUSIM 4.0 have been developed to evaluate QoS parameters in 6G networks, thus contributing to a deeper understanding of their impact on wireless networks in the advanced technological era.

CUPRINS

INTRODUCERE.....	8
1 ANALIZA COMPONENTELOR FUNDAMENTALE ȘI CARACTERISTICILE TEHNOLOGIEI 6G	10
1.1 Prezentarea generală și analiza comparativă a tehnologiilor de comunicații fără fir 5G și 6G.....	10
1.2 Investigarea componentelor arhitecturale fundamentale ale rețelei 6G	14
1.3 Definirea modelului de protocol și securitate pentru generația 6G.....	14
1.4 Scopul și obiectivele.....	18
2 CERCETAREA INDICATORILOR DE CALITATE A SERVICIILOR TEHNOLOGIEI 6G .	20
2.1 Analiza parametrilor QoS și a potențialelor soluții în satisfacerea cerințelor de calitate a serviciilor.....	20
2.2 Investigarea serviciilor și capacităților tehnologiei 6G	29
2.3 Studiul și evaluarea indicatorilor specifici de performanță KPI	31
2.4 Definierea cadrului funcțional al sistemului 6G	36
2.5 Integrarea inteligenței artificiale în analiza parametrilor QoS	38
3 DEZVOLTAREA MODELELOR DE SIMULARE A CANALELOR WIRELESS PENTRU EVALUARE PARAMETRILOR QOS A REȚELE 6G ÎN NYUSIM 4.0	40
3.1 Prezentare generală și caracteristicile aplicației NYUSIM 4.0	40
3.2 Simularea canalelor wireless în scenariile Umi și RMa pentru tehnologia 6G în NYUSIM 4.0ss	40
3.3 Analiza și evaluarea parametrilor QoS pentru tehnologia 6G în urma simulării canalelor wireless.....	61
CONCLUZII	65
BIBLIOGRAFIE.....	66

INTRODUCERE

Pe măsură ce societatea evoluează într-o eră de progres tehnologic fără precedent, evoluția sistemelor de comunicații fără fir continuă să joace un rol esențial în modelarea ansamblului informațional global. Cu fiecare generație succesivă de tehnologie fără fir, am asistat la schimbări profunde în modul în care ne conectăm, comunicăm și conducem afaceri. În prezent, se conturează pe orizont perspectiva tehnologiei 6G, o infrastructură de comunicații fără fir de ultimă generație, pregătită să promoveze evoluția conectivității, vitezei și eficienței.

Tehnologia 6G prezice acoperirea globală, bazată pe diferite rețele de telecomunicații prin satelit, deoarece sistemul mobil 6G va fi o combinație între un sistem mobil wireless 5G și o rețea de satelit pentru acoperire la nivel mondial. O rețea de comunicații prin satelit, o rețea prin satelit de imagistică a pământului și o rețea prin satelit de navigație sunt exemple de rețele de satelit, care sunt avizate în sistemul 6G. Satelitul de telecomunicații transmite voce, date și video, rețeaua de satelit de imagistică a pământului colectează date climatice și de mediu, rețeaua de navigație prin satelit se conectează la sistemul global de poziționare (GPS) și va permite accesul la Internet de mare viteză cu date incredibile.

Inteligența artificială (AI) va fi folosită în aproape fiecare aspect al 6G, de la arhitecturarea și managementul rețelei până la codificare și procesarea semnalului în stratul fizic, manipularea structurilor inteligente, extragerea datelor de rețea și la nivel de dispozitiv pentru comunicații bazate pe servicii în funcție de context. Viziunile asupra rețelelor 6G au dat descrieri detaliate care ating diverse aspecte, dar există o lipsă de discuții cu privire la gestionarea experienței utilizatorului. 6G va oferi experiențe mobile îmbunătățite și experiențe mobile individualizate. Realizarea acestor obiective presupune armonizarea resurselor rețelei într-un mod end-to-end și încrucișat pentru a se potrivi cerințelor individuale ale utilizatorului. O livrare armonizată și individualizată este un alt produs secundar definit de valorificare a managementului rețelei bazat pe AI.

Primul capitol din lucrarea dată va include analiza componentelor fundamentale și caracteristicilor tehnologiei 6G. Mai întâi de toate se va prezenta o imagine de ansamblu și o analiză comparativă a tehnologiilor de comunicații fără fir 5G și 6G, evidențiind avantajele și provocările pe care le aduce 6G. După care va urma o descriere detaliată a componentelor arhitecturale fundamentale ale rețelei 6G, cum ar fi infrastructura fizică, logică și socială, precum și a modelului de protocol și securitate pentru generația 6G. Ilustrarea importanței și rolului parametrilor QoS în asigurarea unei performanțe optime și a unei experiențe satisfăcătoare a utilizatorilor în rețeaua 6G.

În al doilea capitol vor fi identificați și descriși indicatorii de calitate a serviciilor tehnologiei 6G. Se va analiza detaliat modul în care parametrii QoS influențează și sunt influențați de factori precum viteza de transfer de date, latența, capacitatea, fiabilitatea, disponibilitatea, securitatea și altele, facilitând astfel stabilirea cerințelor și obiectivelor de calitate pentru rețeaua 6G.

Capitolul 3 va comunica despre procesul necesar pentru simularea și evaluarea parametrilor QoS pentru rețeaua 6G. Se va prezenta metodologia și instrumentele utilizate pentru dezvoltarea modelelor de simulare a canalelor wireless pentru rețeaua 6G, cu accent pe NYUSIM 4.0, un simulator de canal wireless pentru unde milimetrice și terahertz. Se vor descrie etapele și parametrii pentru configurarea și rularea simulărilor. Se vor prezenta și discuta rezultatele și concluziile obținute din simulări, precum și sugestiile și recomandările pentru îmbunătățirea parametrilor QoS pentru rețeaua 6G.

Lucrarea dată tinde să exploreze necesitatea și beneficiile evaluării și optimizării parametrilor QoS pentru tehnologia 6G în domeniul comunicațiilor mobile. Această abordare nu numai că va contribui la creșterea calității și eficienței serviciilor oferite de rețeaua 6G, dar va sprijini și dezvoltarea de aplicații noi și inovatoare, care vor îmbogăți viața și activitatea utilizatorilor.

Scopul lucrării este studierea și evaluarea caracteristicile parametrilor QoS oferite de tehnologia 6G, ținând cont de analiza componentelor fundamentale ale tehnologiei 6G, cercetarea indicatorilor de calitate a serviciilor 6G, precum și dezvoltarea unui model de simulare a canalelor wireless pentru evaluarea parametrilor QoS în rețelele 6G.

1. În acest caz, este necesar să se rezolve următoarele **obiective**:
2. Studierea arhitecturii și funcționalității rețelelor 6G și impactul acestora asupra QoS;
3. Analiza serviciilor și tehnologiilor care contribuie la dezvoltarea QoS în cadrul rețelelor 6G;
4. Evaluarea și investigarea indicatorilor specifici de performanță (KPI - Key Performance Indicators);
5. Analizeza parametrilor QoS pentru 6G și soluțiilor pentru îmbunătățirea calității serviciilor oferite de această tehnologie;
6. Dezvoltarea modelelor de simulare a canalelor wireless pentru 6G în scenariile UMi și RMa pentru evaluarea performanței rețelei și a parametrilor QoS.

BIBLIOGRAFIE

1. Vivo. Digital Life 2030+. Beijing: Vivo, 2020, 36 p. ISBN 978-7-121-41123-9, [citat 16.09.2023]. Disponibil: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.29.ipd.pdf>
2. NGMN. 6G use cases and analysis. Frankfurt: NGMN, 2022. 44 p. ISBN 978-3-9819538-0-1, [citat 21.09.2023]. Disponibil: [6G USE CASES AND ANALYSIS - NGMN](#)
3. FISHER Tim. "6G: What It Is & When to Expect It". Lifewire, 2022.
4. YANG H., ALPHONES, A., XIONG, Z., NIYATO, D., ZHAO, J., WU, K. "Artificial-Intelligence-Enabled Intelligent 6G Networks". IEEE Wireless Communications, vol. 27, no. 5, pp. 10-16, 2020, ISSN 1536-1284.
5. ZHU G., LIU D., DU Y., YOU C., ZHANG J., HUANG K. "Toward an Intelligent Edge: Wireless Communication Meets Machine Learning". IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 1, pp. 19-25, 2020. ISSN 0163-6804.
6. WANG M., LIN Y., TIAN Q. SI G. "Transfer Learning Promotes 6G Wireless Communications: Recent Advances and Future Challenges". IEEE Transactions on Reliability, vol. 70, no. 2, pp. 190-207, 2021, ISSN 0018-9529. [citat 24.09.2023]. Disponibil: [Transfer Learning Promotes 6G Wireless Communications: Recent Advances and Future Challenges | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
7. IMT-2030(6G) Promotion Group. 6G Network Architecture Vision and Key Technology Outlook. Beijing: IMT-2030(6G) Promotion Group, 2021. 36 p. ISBN 978-7-121-41124-6.
8. HUANG H., GUO S., GUI G., YANG Z., ZHANG J., SARI H., ADACHI F. "Deep Learning for Physical-Layer 5G Wireless Techniques: Opportunities, Challenges and Solutions". IEEE Wireless Communications, vol. 27, no. 1, pp. 64-71, 2020. ISSN 1536-1284, [citat 02.10.2023]. Disponibil: [Deep Learning for Physical-Layer 5G Wireless Techniques: Opportunities, Challenges and Solutions | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
9. LETAIEF K. B., CHEN W., SHI Y., ZHANG J., ZHANG Y. A. "The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks". IEEE Communications Magazine, vol. 57, no. 8, pp. 84-90, 2019, ISSN 0163-6804
10. PUNDIR M., SANDHU J.K. A systematic review of quality of Service in Wireless Sensor Networks using machine learning: recent trend and future vision. London: Elsevier, 2021, 33 p. ISBN 978-0-12-823186-5, [citat 08.10.2023]. Disponibil: <https://sci-hub.se/10.1016/j.jnca.2021.103084>
11. TANG F., MAO B. KAWAMOTO, Y. KATON. Survey on machine learning for intelligent end-to-end communication towards 6G: from network access, routing to traffic control and streaming adaption. New York: IEEE, 2021, 21 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.

12. MARTIN V., CABRERA J., GARCIA, N. Design, optimization and evaluation of a Q-learning HTTP adaptive streaming client. New York: IEEE, 2016, 9 p. ISBN 978-1-5090-3318-4. [citat 17.10.2023]. Disponibil: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7838090>
13. YUAN H., HU X., HOU J., WEI X., KWONG S. An ensemble rate adaptation framework for dynamic adaptive streaming over HTTP. New York: IEEE, 2019, 13 p. ISBN 978-1-7281-5569-5.
14. NAWAZ S.J., SHARMA S.K., MANSOOR B., PATWARY, M.N., KHAN, N.M. Non-coherent and backscatter communications: enabling ultra-massive connectivity in 6G wireless networks. New York: IEEE, 2021, 43 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
15. ȚURCANU D., NISTIRIUC P., ALEXEI A., BAXAN L., BEJAN N., NISTIRIUC A., IAZLOVEȚCHI M., FINCIUC S., CHIHAI A., ȚURCANU T. Modelele matematice a calității rețelelor de comunicații multifuncționale și serviciilor. 4th International Conference “Telecommunications, Electronics and Informatics” ICTEI 2012. pp.33-42.
16. SHARMA S.K., WANG X. Toward massive machine type communications in ultra-dense cellular IoT networks: current issues and machine learning-assisted solutions. New York: IEEE, 2019, 46 p. ISBN 978-1-7281-9999-1, [citat 24.10.2023]. Disponibil: <https://sci-hub.se/10.1109/COMST.2019.2916177>
17. ZHOU D., SHENG M., LUO J., LIU R., LI J., HAN Z. Collaborative data scheduling with joint forward and backward induction in small satellite networks. New York: IEEE, 2019, 14 p. ISBN 978-1-7281-9999
18. JIA Z., SHENG M., LI J., ZHOU D., HAN Z. Joint HAP access and LEO satellite backhaul in 6G: matching game-based approaches. New York: IEEE, 2020, 13 p. ISBN 978-1-7281-9999-1. Link
19. MURSIA P., SCIANCALEPORE V., GARCIA-SAAVEDRA A., COTTATELLUCCI L., PÉREZ X.C., GESBERT D. RISMA: reconfigurable intelligent surfaces enabling beamforming for IoT massive access. New York: IEEE, 2020, 14 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
20. SUN S., MOON S. Practical scheduling algorithms with contiguous resource allocation for next-generation wireless systems. New York: IEEE, 2020, 5 p. ISBN 978-1-7281-9999-1. [citat 28.10.2023]. Disponibil: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9276457/>
21. YASEEN F.A., AL-RAWESHIDY H.S. Smart virtualization packets forwarding during handover for beyond 5G networks. New York: IEEE, 2019, 15 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
22. KAMEL M., HAMOUDA W., YOUSSEF A. Ultra-dense networks: a survey. New York: IEEE, 2016. 24 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
23. HU H., WANG Q., HU R.Q., ZHU H. Mobility-aware offloading and resource allocation in an MEC-enabled IoT network with energy harvesting. New York: IEEE, 2021. 16 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
24. WONG I.C., OTERI O.F., MCCOY J.W. Resource allocation in multi data stream communication link. New York: IEEE, 2019, 6 p. ISBN 978-1-7281-9999-1. [citat 30.10.2023]. Disponibil: [US7911934B2 - Resource allocation in multi data stream communication link - Google Patents](#)

25. GUPTA R., THAKKER U., TANWAR S., OBAIDAT M.S., HSIAO K.F. BITS: A blockchain-driven intelligent scheme for telesurgery system. New York: IEEE, 2020, 6 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
26. BARRUECO J., MONTALBAN J., IRADIER E., ANGUEIRA P. Constellation Design for Future Communication Systems: a comprehensive survey. New York: IEEE, 2021, 20 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
27. LAURIDSEN M., NGUYEN, H., VEJLGAARD B., KOVACS, I.Z., MOGENSEN P., SORENSEN M. Coverage comparison of GPRS, NB-IoT, LoRa, and SigFox in a 7800 km² area. New York: IEEE, 2017. 5 p. ISBN 978-1-5090-5932-4, [citat 01.11.2023]. Disponibil: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8108182/>
28. BASTUG E., BENNIS M., DEBBAH M. Living on the edge: the role of proactive caching in 5G wireless networks. New York: IEEE, 2014, 8 p. ISBN 978-1-5090-3318-4.
29. SUZUOKI K., HISANO D., SHIBITA S., MARUTA K., MARUTA A. Nonlinear quantization for power-domain non-orthogonal multiple access passive optical network. New York: IEEE, 2021, 8 p. ISBN 978-1-7281-9999-1, [citat 04.11.2023]. Disponibil: <https://opg.optica.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-39-19-6142>
30. ZHOU F., FENG L., YU P., LI W., QUE X., MENG L. DRL-based low-latency content delivery for 6G massive vehicular IoT. New York: IEEE, 2021, 12 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
31. KATONA Z., CLAZZER F., SHORTT K., WATTS S., LEXOW H.P., WINDURATNA, R. Performance, cost analysis, and ground segment design of ultra high throughput multi-spot beam satellite networks applying different capacity enhancing techniques. Hoboken: Wiley, 2016, 27 p. ISBN 978-1-119-27932-0. [citat 24.11.2023]. Disponibil: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sat.1147>
32. ALSULAMI O.Z., ALAHMADI A.A., SAEED S.O.M., et al. Optimum resource allocation in 6G optical wireless communication systems. New York: IEEE, 2020, 5 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
33. ZENG L., O'BRIEN, D.C., LE MINH H., FAULKNER G.E., JUNG D., OH Y. High data rate multiple input multiple output (MIMO) optical wireless communications using white LED lighting. New York: IEEE, 2009, 9 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
34. MURSIA P., SCIANCALEPORE V., GARCIA-SAAVEDRA A., COTTATELLUCCI L., PÉREZ X.C., GESBERT D. RISMA: reconfigurable intelligent surfaces enabling beamforming for IoT massive access. New York: IEEE, 2020, 14 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
35. NGMN. 6G use cases and analysis. Frankfurt: NGMN, 2022. 32 p., [citat 02.12.2023]. Disponibil: <https://www.ngmn.org/publications/6g-use-cases-and-analysis.html>
36. HEXA-X. 6G Vision, Use Cases and Key Societal Values. Stockholm: Hexa-X, 2021. 24 p.
37. IMT-2030(6G) Promotion Group. 6G Network Architecture Vision and Key Technology Outlook. Beijing: IMT-2030(6G) Promotion Group, 2021. 36 p. [citat 04.12.2023]. Disponibil: http://6gglobal.org/en/sub/publication/publication_view.php?idx=3

38. ITU-R. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Geneva: ITU-R, 2015. 12 p.
39. Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies. Sophia Antipolis: 3GPP, 2017. 64 p. [citat 13.12.2023]. Disponibil: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138913/14.02.00_60/tr_138913v140200p.pdf
40. CUI M., DAI L., SCHOBBER, R., HANZO, L. Near-field wideband beamforming for extremely large antenna array. arXiv, 2109, 10054, 2021. 14 p.
41. HOSPEDALES T.M., ANTONIOU A., MICAELLI P., STORKEY A.J. Meta-Learning in Neural Networks: A Survey. New York: IEEE, 2021, 28 p. ISBN 978-1-7281-9999-1.
42. NYU Wireless, NYU Tandon. NYUSIM 4.0 comes with a new feature to simulate the 6G channel models for indoor office (InO) and indoor factory (InF) environments. New York: NYU Wireless, NYU Tandon, 2021, [citat 28.12.2023]. Disponibil: <https://engineering.nyu.edu/news/nyu-wireless-nyu-tandon-releases-nyusim-40-accelerate-standardization-efforts-6g-wireless>