

**Ministerul Educației Culturii și Cercetării al Republicii Moldova**  
**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**FACULTATEA Calculatoare, Informatică și Microelectronică**  
**Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor**

**Admis la susținere**

Șef de departament: conf. univ., dr. V. Sudacevschi

\_\_\_\_\_

”\_\_” \_\_\_\_\_ 2024

**ANALIZA PARAMETRILOR QoS PENTRU TEHNOLOGIA 6G**

**Calculatoare și Rețele Informaționale**

---

(programul de masterat )

**Masterand:** \_\_\_\_\_ (Cebotari Valeria)

**Conducător:** \_\_\_\_\_ (Moraru Victor)

**Chișinău – 2024**

**ADNOTARE**  
**La proiectul de maste: "Analiza parametrilor QoS pentru tehnologia 6G"**  
**elaborat de Cebotari Valeria. Chişinău, 2024.**

**Cuvinte cheie:** banda Terahertz, reţelele cuantice, inteligenţa artificială, învăţarea automată, comunicări MIMO masive, flexibilitate, scalabilitate, suprafeţe inteligente.

Analiza parametrilor QoS pentru tehnologia 6G se axează pe îmbunătăţirea semnificativă a performanţei reţelei în comparaţie cu generaţiile anterioare. Se aşteaptă ca 6G să ofere viteze ultra-rapide de transmisie, latenţă extrem de redusă, fiabilitate crescută şi o densitate mai mare de dispozitive conectate. În contextul tehnologiei 6G, analiza parametrilor QoS va implica evaluarea aspectelor critice precum latenţa ultraredusă, vitezele de date teoretice de până la 1 terabit pe secundă, fiabilitatea apropiată de 100%, şi suportul pentru densităţi masive de dispozitive per kilometru pătrat. Se va pune accent pe capacităţi noi, cum ar fi comunicaţii la frecvenţe terahertz (THz), reţele de comunicaţii inteligente cuantice şi aplicaţii de inteligenţă artificială. Abordarea complexităţii şi variabilităţii cerinţelor de QoS în 6G va fi esenţială pentru a sprijini o gamă largă de aplicaţii emergente şi servicii ultra-fiabile.

Documentul accentuează faptul că, pe măsură ce tehnologia avansează, cerinţele de QoS devin din ce în ce mai complexe şi esenţiale pentru o gamă largă de aplicaţii noi şi servicii de comunicaţii. Această cercetare contribuie la înţelegerea şi dezvoltarea viitoarelor reţele 6G, evidenţiind atât provocările, cât şi oportunităţile aduse de această tehnologie emergentă. Concluzia accentuează necesitatea unei QoS excepţionale în reţelele 6G, care este esenţială pentru atingerea obiectivelor tehnologice şi pentru a răspunde nevoilor viitoare ale societăţii.

Dezvoltarea tehnologiei 6G se bazează pe inovaţii tehnologice cheie. Comunicaţiile în banda Terahertz (THz) permit viteze de date extraordinare şi lăţimi de bandă extinse. Inteligenţa Artificială (AI) şi învăţarea automată sunt esenţiale pentru gestionarea eficientă a reţelelor complexe. Tehnologiile MIMO masive sporesc capacitatea şi eficienţa reţelei, iar reţelele definite prin software (SDN) şi virtualizarea funcţiilor de reţea (NFV) oferă flexibilitate în adaptarea la cerinţele variabile. Suprafeţele inteligente reflectorizante modifică mediul de propagare al semnalului pentru a îmbunătăţi acoperirea. Exemple actuale, precum progresele în AI şi dezvoltarea comunicaţiilor 5G, indică direcţia tehnologiilor emergente pentru 6G.

## ANNOTATION

### On the Master thesis “Analysis of QoS Parameters for 6G Technology” elaborated by Cebotari Valeria. Chişinău, 2024

**Key words:** Terahertz band, quantum networks, artificial intelligence, machine learning, massive MIMO communications, flexibility, scalability, intelligent surfaces.

The analysis of QoS parameters for 6G technology focuses on significantly enhancing network performance compared to previous generations. 6G is expected to offer ultra-fast transmission speeds, extremely low latency, increased reliability, and a higher density of connected devices. This analysis will involve assessing critical aspects such as ultra-low latency, theoretical data rates up to 1 terabit per second, near 100% reliability, and support for massive device densities per square kilometer. There will be a focus on new capabilities like Terahertz (THz) frequency communications, quantum intelligent communication networks, and artificial intelligence applications. Addressing the complexity and variability of QoS requirements in 6G will be crucial to support a wide range of emerging applications and ultra-reliable services. The document emphasizes that as technology advances, QoS requirements become increasingly complex and essential for a wide range of new applications and communication services. This research contributes to the understanding and development of future 6G networks, highlighting both the challenges and opportunities brought by this emerging technology. The conclusion emphasizes the need for exceptional QoS in 6G networks, which is essential for achieving technological objectives and meeting the future needs of society.

The development of 6G technology relies on key technological innovations. Terahertz (THz) communications allow for extraordinary data speeds and expanded bandwidths. Artificial Intelligence (AI) and machine learning are essential for efficiently managing complex networks. Massive MIMO technologies enhance network capacity and efficiency, while Software-Defined Networking (SDN) and Network Function Virtualization (NFV) provide flexibility to adapt to varying requirements. Intelligent reflective surfaces modify the signal propagation environment to improve coverage. Current examples, such as advances in AI and the development of 5G communications, indicate the direction of emerging technologies for 6G.

# Cuprins

1. Introducere .....	9
1.1 Scopul și Obiectivele .....	10
1.1.1 Scopul general al lucrării .....	10
1.1.2 Obiectivele specifice de cercetare.....	10
1.2 Context și Justificare .....	11
1.2.2 Motivația pentru dezvoltarea tehnologiei 6G .....	11
2. Revizuirea literaturii științifice.....	12
2.1 Istoricul comunicațiilor mobile .....	12
2.1.1 Generația a doua (2G).....	12
2.1.2 Generația a treia (3G) .....	12
2.1.3 Generația a patra (4G).....	12
2.2 Generația 5G și 6G .....	13
2.2.1 Generația a șasea (6G) .....	14
2.3 Teoria QoS în Comunicațiile Mobile .....	16
2.3.1 Conceptele Fundamentale ale QoS .....	16
2.3.2 Metode și Tehnici pentru Măsurarea și Îmbunătățirea QoS în Tehnologiile Anterioare..	16
2.4 Performanțele gestionării QoS în cadrul tehnologiei 6G în raport cu 5G .....	17
3. Studiul aprofundat al comunicațiilor wireless 6G.....	21
3.1 Prezentarea generală a tehnologiei 6G .....	23
3.1.1 Tehnologiile referitoare la 6G .....	23
3.2 Aplicații .....	27
3.2.1 Inteligența Artificială .....	28
3.2.1.1 Învățarea supravegheată .....	29
3.2.1.2 Învățare profundă de întărire .....	30
3.2.1.3 Învățare profundă bazată pe model.....	30
3.2.1.4 Învățare federalizată .....	30
3.2.1.5 Inteligență artificială explicabilă .....	31
3.3 Suprafețe inteligente .....	31
3.3.1 Rețele wireless 6G asistate de IRS .....	33
3.3.1.1 Mediu wireless inteligent și controlabil .....	33
3.3.1.2 Conectivitate omniprezentă acceptată de IRS .....	36
3.3.1.3 Conectivitate profundă asistată de IRS .....	37
3.3.1.4 Comunicații holografice asistate de IRS.....	37
3.4 Modularea indexului.....	38
3.5 Informații wireless simultane și transfer de energie (SWIPT) .....	40

3.6 Rețea integrată spațiu-aer-sol-mare .....	43
3.6.1 Rețea de comunicații prin satelit.....	43
3.6.2 Rețea de comunicații UAV .....	44
3.6.3 Rețeaua de comunicații maritime.....	45
3.7    Securitate și confidențialitate.....	45
3.7.1    Tipuri de atac.....	45
3.7.2    Tehnologii pentru securitatea stratului fizic 6G.....	46
Concluzie.....	49
Bibliografia.....	51

## Introducere

Într-o lume în perpetuă transformare și inovație, comunicațiile mobile au devenit un pilon fundamental al societății noastre. De la apariția primelor rețele 2G până la tehnologia 5G de ultimă generație, progresele tehnologice au marcat o evoluție rapidă, oferind noi posibilități și facilități pentru conectivitatea globală. Cu toate acestea, călătoria noastră în lumea comunicațiilor mobile nu s-a oprit aici. În viitorul apropiat, tehnologia 6G se ridică ca o promisiune uluitoare și irezistibilă.

Tehnologia 6G reprezintă o perspectivă apasionantă, în care comunicațiile mobile vor transcende limitele cunoscute până acum. Cu viteze de transfer a datelor incredibil de ridicate, latență aproape neglijabilă și o capacitate sporită de a conecta dispozitive și aplicații diverse, tehnologia 6G deschide uși către o eră complet nouă a comunicării. Imaginați-vă o lume în care realitatea virtuală și augmentată nu mai cunosc limite, în care vehiculele autonome comunică în timp real și în care toate dispozitivele IoT sunt interconectate cu o eficiență fără precedent. Aceasta este lumea pe care tehnologia 6G o promite.

Cu toate acestea, pentru a transforma această viziune în realitate, asigurarea calității serviciului (QoS) devine o necesitate critică. Într-o lume în care totul este conectat și se bazează pe transmiterea datelor în timp real, parametrii QoS devin pietrele de temelie ale unei experiențe de conectivitate fără cusur. Acesta este contextul în care această lucrare de master își găsește justificarea.

Această lucrare are ca scop să analizeze și să evalueze în profunzime parametrii QoS în contextul tehnologiei 6G. Vom explora conceptele fundamentale ale QoS și modul în care acestea sunt redefinite în cadrul tehnologiei 6G. Vom examina provocările și cerințele specifice legate de QoS într-un mediu de comunicații atât de avansat și vom identifica soluții potențiale pentru asigurarea unei conectivități de înaltă calitate.

Prin această cercetare, ne propunem să aducem o contribuție valoroasă la înțelegerea și dezvoltarea viitoarelor rețele de comunicații mobile 6G și să anticipăm provocările și oportunitățile pe care această tehnologie le aduce. Într-o lume în care comunicațiile sunt coloana vertebrală a inovației și progresului, asigurarea unei QoS excepționale în tehnologia 6G este esențială pentru a ne atinge obiectivele și pentru a ne întâmpina viitorul.

## Bibliografia

- [1] W. Saad et al., "A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems," *IEEE Netw.*, vol. 34, no. 3, pp. 134–142, June 2020.
- [2] Wen-Xuan Long et al., "A Promising Technology for 6G Wireless Networks: Intelligent Reflecting Surface." in: *Journal of Communications and Information Networks (Volume: 6, Issue: 1, March 2021)*
- [3] Yang Zhao et al., "A Comprehensive Survey of 6G Wireless Communications" *IEEE Access (Volume: 9)*, 2 November 2021
- [4] Akram Shafie et al., "Terahertz Communications for 6G and Beyond Wireless Networks: Challenges, Key Advancements, and Opportunities" *IEEE Network ( Volume: 37, Issue: 3, May/June 2023)*
- [5] H. He, S. Jin, C.-K. Wen, F. Gao, G. Y. Li, and Z. Xu, "Model-driven deep learning for physical layer communications," *IEEE Wireless Communications*, 2019.
- [6] "The potential of using large antenna arrays on intelligent surfaces," in *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [7] W. C. Brown, "Experiments involving a microwave beam to power and position a helicopter," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-5, no. 5, pp. 692–702, 1969.
- [8] L. R. Varshney, "Transporting information and energy simultaneously," in *2008 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*. IEEE, 2008, pp. 1612–1616
- [9] W. Y. B. Lim, J. Huang, Z. Xiong, J. Kang, D. Niyato, X.-S. Hua, C. Leung, and C. Miao, "Towards federated learning in UAV-enabled Internet of Vehicles: A multi-dimensional contract-matching approach," *arXiv preprint arXiv:2004.03877*, 2020.
- [10] T. Zeng, O. Semiari, M. Mozaffari, M. Chen, W. Saad, and M. Bennis, "Federated learning in the sky: Joint power allocation and scheduling with UAV swarms," *arXiv preprint arXiv:2002.08196*, 2020.
- [11] T. Xia, M. M. Wang, J. Zhang, and L. Wang, "Maritime Internet of Things: Challenges and solutions," *IEEE Wireless Communications*, vol. 27, no. 2, pp. 188–196, 2020.
- [12] A. D. Wyner, "The wire-tap channel," *Bell system technical journal*, vol. 54, no. 8, pp. 1355–1387, 1975.
- [13] I. Csiszár and J. Körner, "Broadcast channels with confidential messages," *IEEE transactions on information theory*, vol. 24, no. 3, pp. 339–348, 1978.
- [14] M. S. Afaqui, E. Garcia-Villegas și E. Lopez-Aguilera, "Ieee 802.11ax: Provocări și cerințe pentru viitoarele Wi-Fi de înaltă eficiență", *IEEE Comunicații fără fir*, vol. 24, nr. 3, pp. 130-137, 2017.