

**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.**

„_____” _____ 2024

**Dezvoltarea tehnologiilor și a inovațiilor în domeniul
internetului cu utilizarea comunicațiilor prin satelit
Proiect/teză de licență**

Student: Neagu Vlad

gr.RST-201

**Coordonator: Mașnic Alisa
lect. univ., dr.**

**Consultant: Grițco Maria
asist. univ.**

Chișinău, 2024

ADNOTARE

Titlul tezei: Dezvoltarea Tehnologiilor și a Inovațiilor în Domeniul Internetului cu Utilizarea
Comunicațiilor prin Satelit

Autor: Neagu Vlad

Universitatea Tehnică a Moldovei, 2024

Lucrarea de licență intitulată „Dezvoltarea Tehnologiilor și a Inovațiilor în Domeniul Internetului cu Utilizarea Comunicațiilor prin Satelit” explorează modul în care tehnologiile emergente de comunicații prin satelit pot revoluționa accesul la internet. În contextul necesității de a reduce diviziunea digitală și de a extinde conectivitatea globală, această lucrare examinează în detaliu beneficiile și provocările implementării constelațiilor de sateliți cu orbită joasă (LEO), propulsia electrică și alte tehnologii avansate în domeniul telecomunicațiilor.

Teza este structurată în trei capitole principale, fiecare abordând un aspect esențial al subiectului. Primul capitol subliniază evoluția comunicațiilor prin satelit, evidențind tranziția de la sateliții geostaționari (GEO) la constelațiile de sateliți LEO și impactul acestei schimbări asupra accesului la internet. Capitolul analizează avantajele sateliților LEO, cum ar fi latența scăzută și vitezele mari de transfer de date, și prezintă exemple de proiecte notabile, cum ar fi Starlink.

Capitolul al doilea se concentrează pe studiul de caz al rețelei Starlink și pe modul în care aceasta îmbunătățește accesul la internet în zonele izolate și defavorizate. Lucrarea detaliază arhitectura rețelei, procesul de lansare a sateliților și modalitățile de configurare a rețelei pentru a asigura o conectivitate fiabilă și rapidă. De asemenea, sunt discutate inovațiile tehnologice, precum propulsia electrică și comunicațiile cuantice, care contribuie la eficiența și sustenabilitatea serviciilor oferite.

Ultimul capitol, dedicat argumentării economice, analizează costurile și beneficiile implementării tehnologiilor satelitare. Lucrarea include studii de caz concrete și calcule economice detaliate, demonstrând eficiența economică și impactul pozitiv al utilizării sateliților LEO în furnizarea de servicii de internet. Analiza economică relevă faptul că, deși investițiile inițiale pot fi semnificative, beneficiile pe termen lung în ceea ce privește accesibilitatea și reducerea costurilor de operare sunt considerabile.

ADNOTATION

Thesis Title: The development of technology and innovations in the field of the Internet with the use of satellite communications

Author: Neagu Vlad

Technical University of Moldova, 2024

The bachelor's thesis titled "Development of Technologies and Innovations in the Field of the Internet Using Satellite Communications," explores how emerging satellite communication technologies can revolutionize internet access. In the context of the need to reduce the digital divide and expand global connectivity, this work examines in detail the benefits and challenges of implementing low Earth orbit (LEO) satellite constellations, electric propulsion, and other advanced technologies in telecommunications.

The thesis is structured into three main chapters, each addressing an essential aspect of the topic. The first chapter highlights the evolution of satellite communications, emphasizing the transition from geostationary satellites (GEO) to LEO satellite constellations and the impact of this shift on internet access. The chapter analyzes the advantages of LEO satellites, such as low latency and high data transfer speeds, and presents notable project examples like Starlink.

The second chapter focuses on the case study of the Starlink network and how it improves internet access in isolated and underserved areas. The work details the network's architecture, the satellite launch process, and network configuration methods to ensure reliable and fast connectivity. It also discusses technological innovations, such as electric propulsion and quantum communications, which contribute to the efficiency and sustainability of the services offered.

The final chapter, dedicated to economic analysis, examines the costs and benefits of implementing satellite technologies. The work includes concrete case studies and detailed economic calculations, demonstrating the economic efficiency and positive impact of using LEO satellites to provide internet services. The economic analysis reveals that although initial investments can be significant, the long-term benefits in terms of accessibility and reduced operating costs are considerable

CUPRINS

INTRODUCERE

10

1.	Evoluția comunicațiilor prin satelit pentru acces la internet	11
1.1.	Noțiuni generale	11
1.1.2.	Primele sisteme de comunicații prin satelit	12
1.2	Principiile Operaționale ale Sateliților Geostaționari	16
1.3	Dezvoltarea și impactul constelațiilor de sateliți cu orbită joasă	21
1.3.1.	Oportunități. Modele de afaceri și operațiuni	23
1.4.	Exemple de utilizatori. Procedeele de autentificare	25
1.4.1.	Inovații în proiectarea și propulsia sateliților. Tehnologii emergente	28
2.	STUDIU DE CAZ – TEHNOLOGIA INTERNETULUI PRIN STARLINK ȘI IMPLEMENTAREA ACESTEIA	32
2.1	Prezentare generală a proiectului Starlink și a obiectivelor sale	32
2.2.	Arhitectura rețelei Starlink.....	35
2.2.1.	Procesul de lansare și desfășurare a constelației de sateliți Starlink	37
2.3.	Modalități de Configurare a rețelei Starlink. Elaborarea diagramelor de utilizare	39
2.3.1.	Optimizarea Rețelelor prin Simulări și Analize de Performanță.....	42
3.	Argumentarea Economică	56
3.1.	Generalități.....	56
3.2	Calculul investițiilor necesare dezvoltării internetului prin satelit utilizând Starlink.....	56
3.3	Evaluarea eficienței economice.....	59
	Concluzii	63
	Bibliografie	65

					UTM. 0714.2 011 ME						
<i>Mod</i>	<i>Coala</i>	<i>N.Document</i>	<i>Semnat</i>	<i>Data</i>	Dezvoltarea tehnologiilor și a inovațiilor în domeniul internetului cu utilizarea comunicațiilor prin satelit.			<i>Litera</i>	<i>Coala</i>	<i>Coli</i>	
A efectuat	Neagu Vlad									9	65
A verificat	Mașnic Alisa										
Consultant	Grițco Maria										
Contr.norm											
Aprobat	Tîrșu Valentina				U.T.M. F.E.T gr. RST-201						

Introducere

În era transformării digitale, internetul a emergat ca un pilon fundamental al societății moderne, influențând aproape fiecare aspect al vieții cotidiene, de la educație și sănătate până la comerț și comunicare. În ciuda rolului său omniprezent, o porțiune semnificativă a populației globale rămâne încă deconectată de lumea digitală, în principal din cauza provocărilor geografice și infrastructurale. Această divizare digitală subliniază necesitatea unor soluții inovatoare pentru extinderea accesului la internet în zonele îndepărtate și slab deservite, unde infrastructurile terestre tradiționale sunt economic infeasabile sau tehnic dificil de desfășurat. Printre diversele tehnologii care aspiră să acopere această divizare, comunicațiile prin satelit prezintă o soluție convingătoare, oferind acoperire globală și capacitatea de a livra servicii broadband direct utilizatorilor de oriunde de pe planetă. Călătoria comunicațiilor prin satelit a început cu lansarea primului satelit artificial, Sputnik, de către Uniunea Sovietică în 1957, marcând zorii erei spațiale. De atunci, domeniul a asistat la o creștere și evoluție exponențială, de la zilele inițiale de transmitere a semnalelor de televiziune peste continente la furnizarea conectivității de bază pentru telecomunicațiile globale. Apariția sateliților geostaționari în anii 1960 a revoluționat comunicația, permițând servicii continue, de lungă durată, cum ar fi prognoza meteo, difuzarea televiziunii și, în cele din urmă, accesul la internet. Totuși, nu a fost decât cu dezvoltarea și desfășurarea constelațiilor de sateliți în Orbită Pământului Joasă (LEO) și Orbită Pământului Medie (MEO) că comunicațiile prin satelit au început să aibă un impact semnificativ asupra accesibilității la internet, oferind latență redusă și capacități crescute de lățime de bandă.

Progresele recente în tehnologia satelitului, inclusiv sateliții de mare capacitate (HTS), constelațiile LEO și îmbunătățirile semnificative în procesele de lansare și fabricație, au schimbat drastic peisajul conectivității globale la internet. Companii precum SpaceX, cu proiectul său Starlink, și OneWeb se află în avangarda desfășurării masive de constelații de mici sateliți proiectați să ofere servicii de internet de mare viteză și latență scăzută către cele mai îndepărtate colțuri ale globului. Aceste inovații nu numai că promit să facă internetul prin satelit competitiv cu broadbandul terestru în termeni de viteză și fiabilitate, dar și vizează democratizarea accesului la informații și servicii digitale la nivel mondial.

Scopul lucrării își propune să exploreze dezvoltarea tehnologiilor și inovațiilor internetului prin satelit, cu un accent special pe rolul lor în acoperirea diviziunii digitale globale. Prin examinarea evoluției comunicațiilor prin satelit, progreselor tehnologice și aplicarea practică a acestor tehnologii, acest studiu caută să evalueze impactul internetului prin satelit asupra conectivității globale și să exploreze perspectivele de viitor ale acestui domeniu în rapidă evoluție.

					UTM. 0714.2 011 ME	<i>Coala</i>
<i>Mod</i>	<i>Coala</i>	<i>N. Document</i>	<i>Semnat</i>	<i>Data</i>		10

11. OpenSAN: A Software-defined Satellite Network Architecture Jinzhen Bao, Baokang Zhao, Wanrong Yu, Zhenqian Feng, Chunqing Wu, Zhenghu Gong College of Computer National University of Defense Technology Changsha, Hunan, China
<https://www.sigcomm.org/sites/default/files/ccr/papers/2014/August/2619239-2631454.pdf>
12. THE SPACEX STARLINK SATELLITE PROJECT: BUSINESS STRATEGIES AND PERSPECTIVES Yarnaphat Shaengchart *, Tanpat Kraiwanit ** * Faculty of Economics, Rangsit University, Pathum Thani, Thailand ** Corresponding author, Faculty of Economics, Rangsit University, Pathum Thani, Thailand Contact details: Faculty of Economics, Rangsit University, 52/347 Phahon Yothin Road, Muang Eke, Pathum Thani 12000, Thailand. 1 Feb 2024. Disponibil:
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4688037
13. StarLink Network Topology. Jayant Kumar Oct 9, 2023. Disponibil:
<https://medium.com/@jaykrs/starlink-network-topology-289dd3ddb14d>
14. Point-to-point Wi-Fi bridging between buildings—the cheap and easy way. Jim Salter 8/20/2021. Disponibil: <https://arstechnica.com/gadgets/2021/08/point-to-point-wi-fi-bridging-between-buildings-the-cheap-and-easy-way/>
15. Elon Musk’s Starlink is only the beginning. Rebecca Heilweil, Jan 10, 2023. Disponibil:
<https://www.vox.com/recode/2023/1/10/23548291/elon-musk-starlink-space-internet-satellites-amazon-oneweb>
16. Starlink; An Overview, its Technology and Network Infrastructure. Cynthia Nwanonyiri 2023/02/01. Disponibil:
<https://techbuild.africa/starlink-an-technology-network-infrastructure/>
17. Starlink. How the global satellite Internet system is arranged. April 27, 2022. Disponibil:
<https://universemagazine.com/en/starlink-how-the-global-satellite-internet-system-is-arranged/>
18. SpaceX – Starlink System Architecture for Internet. January 12, 2024. Disponibil:
<https://www.techplayon.com/starlink-system-architecture/>