



UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE
ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE
POLITEHNICA BUCUREȘTI



Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații și
Tehnologia Informației

Decizie Nr. 161 din 05-09-2024

REZUMAT TEZĂ DE
DOCTORAT

Ciprian ZAMFIRESCU

PIONEERING OPEN 5G-ENABLED APPLICATIONS FOR SOCIAL IMPACT
AND TECH FOR GOOD: FROM RADIO COMMUNICATIONS OPTIMIZATION
TO LIFE-SAVING INNOVATIONS

PIONIERATUL APLICAȚIILOR BAZATE PE 5G OPEN PENTRU IMPACT
SOCIAL ȘI TEHNOLOGIE PENTRU BINELE COMUN:
DE LA OPTIMIZAREA ÎN DOMENIUL RADIOCOMUNICAȚIILOR LA
INOVAȚII SALVATOARE DE VIETI

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Mihai Ciuc POLITEHNICA București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Bogdan IONESCU POLITEHNICA București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Ion MARGHESCU POLITEHNICA București	Referent
Prof. Dr. Ing. Corina NAFORNIȚĂ Universitatea Politehnica din Timișoara	Referent
Prof. Dr. Ing. Emanuel PUSCHIȚĂ Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca	Referent

BUCUREȘTI 2024

Cuprins

1	Introducere	1
1.1	Prezentarea domeniului tezei de doctorat	1
1.2	Obiectivul tezei de doctorat	1
1.3	Conținutul tezei de doctorat	1
2	Îmbunătățirea ecosistemului 5G cu noi platforme de testare: concepte teoretice și implementări	2
2.1	Concepte arhitecturale și tehnologice și viziuni specifice noului standard 5G	2
2.1.1	Evoluția sistemelor de comunicații mobile. Tehnologia 5G și radio cognitiv: Preliminarii	2
2.1.2	Viziuni arhitecturale 5G	3
2.1.3	Partajarea dinamică a spectrului (DSS)	4
2.1.4	Concluzii	5
2.2	Contribuții privind implementarea unui prototip 5G-SDR deschis cu MIMO cu multiplexare spațială	5
2.2.1	Introducere	5
2.2.2	Precondiții teoretice pentru dezvoltarea unui banc de testare MIMO SDR	5
2.2.3	Abordarea configurării bancului de testare	7
2.2.4	Rezultate experimentale preliminare pentru sistemul SDR MIMO compatibil 5G în GNU Radio	9
2.2.5	Rezumatul contribuțiilor în bancurile de testare deschise 5G-SDR	12
2.3	Contribuții privind agregarea îmbunătățită a purtătoarelor pentru a sprijini cazurile de utilizare 5G	12
2.3.1	Introducere	12
2.3.2	Configurația agregării purtătoarelor	12
2.3.3	Beneficiile și performanțele tehnologiei de agregare a purtătoarelor	13
2.3.4	Scenariu experimental bazat pe teste de teren	14
2.3.5	Rezumatul contribuțiilor privind agregarea îmbunătățită	15
2.4	Contribuții la rețelele 5G cu distribuția slice-urilor V2X: de la concept la implementare și evaluarea performanței	16

2.4.1	Introducere	16
2.4.2	Lucrări conexe	16
2.4.3	Prezentare generală a arhitecturii slicing-ului de rețea	16
2.4.4	Cadrul propus pentru slicing-ul de rețea	16
2.4.5	Implementare și configurații de rețea	20
2.4.6	Simulări și rezultate numerice	23
2.4.7	Rezumatul contribuțiilor privind slicing-ul de rețea V2X	24
2.5	Considerații dincolo de 5G	24
3	5G și UAV-uri pentru a îmbunătăți misiunile în căutare și salvare	25
3.1	Căutare și salvare: context și fundament	25
3.1.1	Salvamont Romania	25
3.1.2	Peisajul românesc	25
3.1.3	Provocarea și necesitatea	26
3.2	Soluția propusă	26
3.2.1	Răspunsul tehnologic	26
3.2.2	Beneficii	26
3.2.3	Arhitectura propusă a sistemului de căutare - salvare bazată pe 5G	26
3.2.4	Descrierea operațională a sistemului de căutare - salvare	26
3.2.5	Integrarea cu soluția software SARUAV	27
3.3	Rezultate experimentale obținute în timpul campaniei de măsurători 5G în scenarii SAR	27
3.3.1	Scenariul 1: Salvare montană – zone rurale, izolate - Vârful „Vârful lui Roman”	27
3.3.2	Scenariul 2: Urban – siguranță publică, recuperare după dezastre, bulă tactică	27
4	Impactul dronelor în opt industrii	28
4.1	Autostrăzi pentru drone activate de 5G	28
4.2	Producția de energie durabilă bazată pe comunicații 5G și inspecția cu UAV-uri	29
4.2.1	UAV-urile în producția de energie	29
4.2.2	Centrul de Cercetare și Tehnologii Avansate pentru Ferma Foto- voltaică de Energie Alternativă	30
4.2.3	Detectarea anomaliilor panourilor fotovoltaice	30
4.2.4	Concluzii	31
5	Rețea deschisă inovatoare 5G dezvoltată în Hub-ul de Inovare și Cercetare- Dezvoltare	33
5.1	Rețeaua deschisă 5G și UAV-urile întâlnesc Hub-ul de Inovare Vodafone: misiune și obiective	33

Cuprins

5.2	Implementarea stației de bază 5G deschise	33
5.2.1	Arhitectura rețelei 5G	33
5.2.2	Arhitectura sistemului OpenRAN	34
5.2.3	Arhitectura la nivel înalt a 5G in a Box	34
5.2.4	Prototipul fizic al 5G in a Box	34
5.2.5	Scenarii și măsurători de test pentru 5G in a Box	34
5.2.6	Evaluarea interfeței aeriene pentru funcționalitatea 5G in a Box	35
6	Concluzii	36
6.1	Rezultate obținute	36
6.2	Contribuții originale	38
6.3	Lista publicațiilor originale	41
6.4	Lista conferințelor și prelegerilor	42
6.5	Lista proiectelor naționale	44
6.6	Lista proiectelor internaționale	45
6.7	Impactul rezultatelor	45
6.7.1	Impactul științific	45
6.7.2	Impactul în inovație	45
6.7.3	Impactul social	46
6.7.4	Impactul în mediu	46
6.7.5	Impactul economic	46
6.8	Perspective pentru dezvoltări ulterioare	47
	Bibliografie	48

Capitolul 1

Introducere

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Introducerea tehnologiei 5G permite aplicații inovatoare precum conducerea autonomă, controlul roboticii la distanță și internetul tactil. Totuși, aceste progrese aduc provocări semnificative, solicitând infrastructurii de rețea să gestioneze latențe extrem de scăzute, sub zece milisecunde, și niveluri de disponibilitate comparabile cu cele ale rețelelor fixe.

1.2 Obiectivul tezei de doctorat

Obiectivul principal este explorarea și demonstrarea implementării practice și a dezvoltării tehnologiilor de comunicații radio de ultimă generație, cu un accent deosebit pe rețelele 5G, sistemele de radio definit prin software (SDR) și soluțiile integrate cu drone.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Organizarea tezei este evidențiată în Figura 1.1.

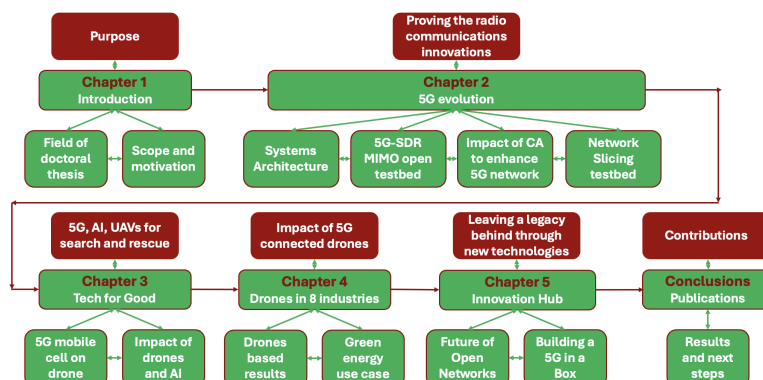


Figura 1.1 Organizarea lucrării

Capitolul 2

Îmbunătățirea ecosistemului 5G cu noi platforme de testare: concepte teoretice și implementări

2.1 Concepte arhitecturale și tehnologice și viziuni specifice noului standard 5G

2.1.1 Evoluția sistemelor de comunicații mobile. Tehnologia 5G și radio cognitiv: Preliminarii

În ultimele decenii, rețelele de comunicații mobile au suferit transformări semnificative. Fiecare generație (G) de telefonie mobilă este definită prin schimbări notabile din mai multe puncte de vedere: tehnologiile utilizate, arhitectura sistemului, capacitatea, viteza, benzile de frecvență și latența. Aceste generații introduc standarde, proceduri și caracteristici unice care le diferențiază de cele anterioare [1].

Tehnologia 5G

În cadrul proceselor de standardizare pentru rețelele 5G, au fost propuse trei scenarii inițiale pentru a constitui liniile directoare de proiectare ale tehnologiilor 5G, și anume: comunicații de bandă largă îmbunătățite (eMBB), comunicații ultra-fiabile și cu latență redusă (URLLC) și comunicații masive de tip mașină (mMTC) [2] [3]. Astfel, eMBB poate furniza o rată de transmisie de până la 1 Gbps, mMTC aduce avantaje pentru dispozitivele conectate IoT, în timp ce URLLC se va concentra pe fiabilitate de ordinul a 99,999% și latență în termeni de milisecunde pentru aplicații în timp real [2].

Pentru a îndeplini cerințele din aceste scenarii, evoluția 5G se va concentra în principal pe trei aspecte: benzile de frecvențe alocate, noile tehnologii utilizate și rețeaua de bază 5G [2].

În ceea ce privește benzile de frecvențe alocate pentru 5G, benzile de frecvențe sub 6 GHz va fi utilizat în primii ani de implementare a noii tehnologii [4]. La rândul său, acest spectru este împărțit în diferite benzi cu frecvențe sub 1 GHz și cele cu frecvențe între 1-6 GHz [2]. În cadrul primei categorii, un rol semnificativ va fi jucat de benzile 4G de 700 și 800 MHz, deoarece se așteaptă ca aceste benzi să fie responsabile pentru serviciile IoT și acoperirea urbană și rurală [4], datorită faptului că la aceste frecvențe, atenuarea semnalelor este mai puțin pronunțată. A doua categorie, reprezentată de frecvențele între 1 și 6 GHz, oferă un echilibru optim atât pentru acoperire, cât și pentru rata de transmisie în cazurile de utilizare 5G [2].

În prezent, rețelele de comunicații mobile fac treptat tranziția de la 5G Non-standalone (ceea ce înseamnă că atât 4G, cât și 5G folosesc aceeași rețea de bază, partea de acces radio fiind nouă, de tip 5G, cu antene inteligente, sisteme de acces massive-MIMO, permițând conectarea simultană a mult mai multor utilizatori) la rețeaua 5G de sine stătătoare, o rețea de bază dedicată.

2.1.2 Viziuni arhitecturale 5G

Rețelele 5G sunt proiectate să aibă o adaptabilitate excepțională și o programabilitate extinsă pe întreaga lor infrastructură, permițându-le să acomodeze diverse aplicații și servicii, precum și să țină cont de factori precum locația și contextul. Acestea determină:

- creșterea capacității, eficienței și utilizării spectrului în rețeaua radio.
- segmentele rețelei 5G trec printr-o transformare în care devin mai flexibile și mai programabile, permițând o mai mare adaptabilitate și versatilitate.

Arhitectura 5G (Figura 2.3) facilitează noi oportunități comerciale prin satisfacerea cerințelor unei game diverse de cazuri de utilizare.

Viziuni asupra controlului resurselor fizice și de infrastructură

Conceptul de bază al 5G este de a crea un mediu de rețea unificat și versatil care integrează multiple tehnologii de acces radio cu soluții cablate sau fără fir, conectând un număr mare și diverse categorii de dispozitive și oameni [6]. Aceste resurse sunt localizate în centre de date. MEC oferă capabilități IT și de cloud direct în cadrul rețelei RAN, aproape de utilizatorii mobili, în timp ce centrele de date regionale sau la scară largă furnizează servicii similare.

Softwarizarea rețelelor, integrală pentru 5G, utilizează conceptele de rețea definită prin software (Software-Defined Networking, SDN) și virtualizare a funcțiilor rețelei (Network Function Virtualization, NFV) pentru a declanșa inovația. SDN decuplează planul de control de la planul de date, un controler centralizat gestionând resursele rețelei, în timp ce NFV permite funcții software pe hardware standard prin virtuali-

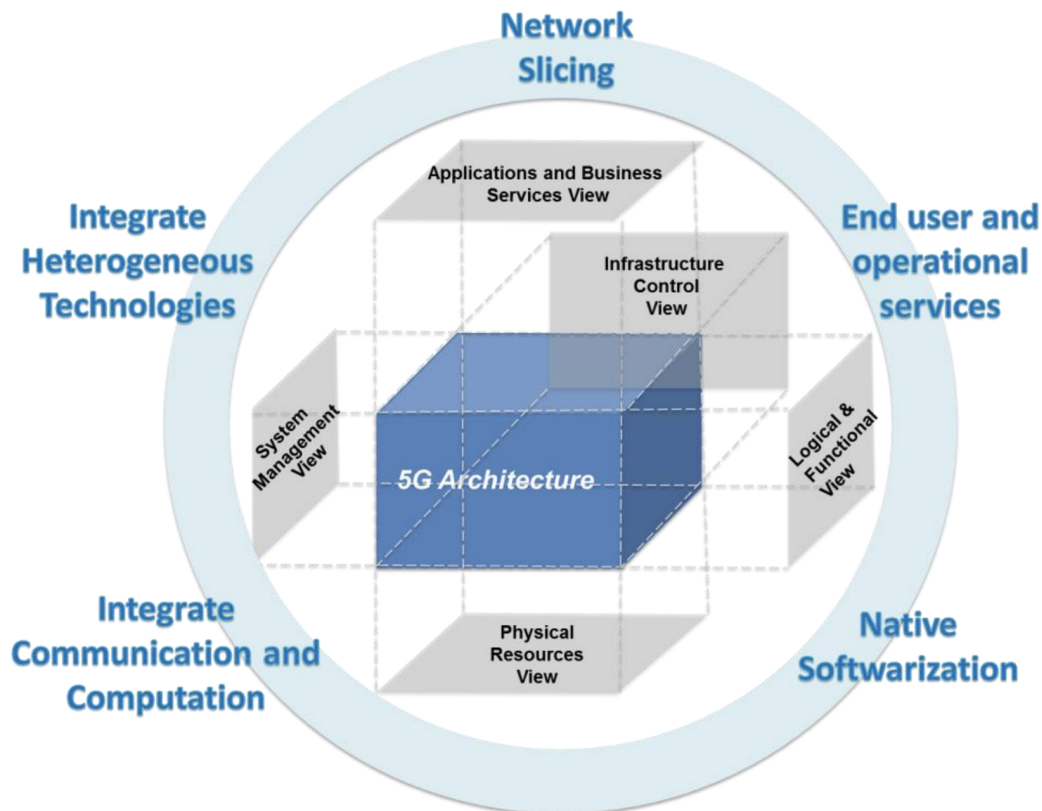


Figura 2.3 Viziuni arhitecturale 5G [5]

zare. Aceste abordări îmbunătățesc flexibilitatea, eficiența resurselor, scalabilitatea și simplifică infrastructura, permițând servicii complete fără întreruperi [5].

2.1.3 Partajarea dinamică a spectrului (DSS)

Partajarea dinamică a spectrului (DSS) este un progres tehnologic important în comunicațiile fără fir, în special în tranziția de la 4G la 5G New Radio (5G NR). Prin DSS, serviciile 4G și noile servicii 5G pot fi utilizate simultan folosind aceeași bandă de frecvență. Acest lucru este realizat prin alocarea dinamică a resurselor spectrale controlată de cerere și de parametrii rețelei, ceea ce îmbunătățește eficiența spectrală și facilitează o implementare fără întreruperi a rețelelor 5G. Prin valorificarea DSS, operatorii de rețea pot maximiza utilizarea resurselor lor spectrale existente, asigurând compatibilitatea retroactivă cu dispozitivele 4G, introducând treptat capacitățile 5G fără a fi necesare licențe suplimentare pentru spectru. Această abordare accelerează semnificativ lansarea 5G, permițând coexistența ambelor tehnologii, optimizând performanța rețelei și reducând costurile de implementare.

2.1.4 Concluzii

În această secțiune, au fost discutate o serie de cerințe dintr-o perspectivă de afaceri, cum ar fi minimizarea timpului de furnizare și permiterea multi-tenancy-ului în rețea, și dintr-o perspectivă tehnică, precum utilizarea diferitelor benzi spectrale care operează în medii ultra-dense, cu o latență foarte scăzută pentru servicii la cea mai mare disponibilitate. SDN și NFV vor avea o semnificație majoră, în timp ce adecvarea acestora în diverse domenii (acces, transport, core) este anticipată să aibă implementări distincte. În acest cadru adaptabil, este necesar să se reexamineze subiecte precum administrarea rețelei și securitatea și să se implementeze proceduri noi.

2.2 Contribuții privind implementarea unui prototip 5G-SDR deschis cu MIMO cu multiplexare spațială

2.2.1 Introducere

Scopul acestei secțiuni este de a propune o soluție de tip banc de testare deschis pentru realizarea de studii practice privind 5G New Radio. Aceasta va implica utilizarea tehnologiei radio definit de software (SDR), determinarea celor mai bune setări de parametri, evaluarea echipamentelor furnizorilor, realizarea de teste realiste asupra comportamentului echipamentelor radio și asigurarea că platforma poate fi extinsă pentru a răspunde cerințelor tehnice viitoare.

2.2.2 Precondiții teoretice pentru dezvoltarea unui banc de testare MIMO SDR

Modelul de canal MIMO - analiză statistică

Pentru a caracteriza sistemele SISO (o singură intrare, o singură ieșire) (SISO), este necesar să se ia în considerare întârzierea de dispersie și efectul Doppler. Prima poate fi înțeleasă ca discrepanța dintre momentul în care este recepționată prima componentă multicast și momentul în care ajunge ultima componentă multicast semnificativă. Acest concept este utilizat pentru a descrie canalele radio. Deplasarea Doppler este fenomenul prin care mișcarea unui utilizator determină o schimbare de frecvență a semnalului emis atunci când acesta se deplasează cu o anumită viteză. Semnalele care traversează diverse căi și regiuni pot prezenta deplasări Doppler distincte, care sunt corelate cu diferite schimbări de fază [7].

Descrierea canalului MIMO

Acest tip de canal trebuie descris pentru toate perechile de antene, transmițător-receptor. Pentru M antene de emisie și N antene de recepție, canalul de transmisie MIMO poate fi reprezentat de o matrice de dimensiune $N \times M$, prezentată în Eq. 2.1 [7].

$$\mathbf{H}(t,s) = \begin{bmatrix} h_{11}(t,s) & \dots & h_{1M}(t,s) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1}(t,s) & \dots & h_{NM}(t,s) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Fiecare element $h_{nm}(t,s)$ reprezintă variația răspunsului la impuls în timp între cea de-a m -a intrare a antenei de emisie și cea de-a n -a ieșire a antenei de recepție. Fiecare răspuns la impuls este efectul în cascadă al antenei de emisie, al mediului de propagare și al antenei de recepție. Corelația spațială și temporală între semnalele recepționate la antenele diferite este reflectată în elementele matricei.

Canalele MIMO pot fi categorisite fie ca fizice, fie ca analitice. Modelele fizice sunt construite folosind fie principiile geometrice derivate din teoria fizică, fie utilizând măsurători fizice. Acestea sunt specializate pentru un anumit tip de mediu sau regiune (urban, suburban și rural) și sunt utilizate în procesul de planificare a rețelelor. Modelele analitice sunt agnostice față de implementarea fizică specifică și sunt utilizate în mod obișnuit pentru dezvoltarea sistemelor, comparații și scopuri de testare.

Matricea canalului MIMO a fost utilizată pentru a construi blocul modelului de canal MIMO în GNU Radio.

Detecția semnalului pentru sisteme cu intrări-multiple și ieșiri-multiple care utilizează multiplexarea spațială

Există diverse abordări de detecție pentru sistemele MIMO, inclusiv ML (maximum-likelihood), care necesită resurse computaționale dincolo de capacitățile majorității sistemelor practice. Pentru a simplifica complexitatea metodelor de detecție MIMO, pot fi utilizate tehnici de egalizare precum zero-forcing (ZF) și eroarea pătratică medie minimă (MMSE).

Detectorul ML este alegerea optimă pentru a minimiza probabilitatea de eroare. Cu toate acestea, implementarea acestei metode prezintă provocări în practică din cauza complexității sale ridicate. Rezultatele din această lucrare sunt derivate din utilizarea algoritmilor ZF și MMSE, care necesită resurse de procesare mai reduse.

Recepționarea datelor transmise într-un mod secvențial printr-un mediu dispersiv este un proces complicat din cauza apariției interferenței inter-simbol (ISI).

Sistemele MIMO care utilizează multiplexarea spațială obțin rate mai mari de transmisie a datelor comparativ cu sistemele care folosesc diversitatea spațială. Cu toate acestea, procesul de demultiplexare spațială sau identificarea semnalului în timpul

recepției reprezintă o provocare pentru sistemele MIMO care utilizează multiplexarea spațială (Figura 2.7).

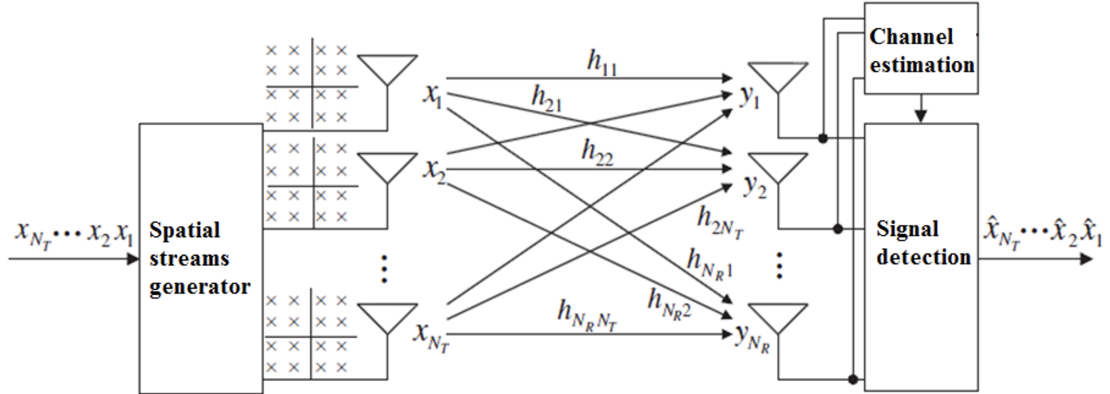


Figura 2.7 Sistem MIMO cu multiplexare spațială [8, 9]

Considerăm un sistem MIMO cu N_R antene de recepție și N_T antene de emisie. Matricea \mathbf{H} este definită ca matricea canalului, cu elementul h_{ji} reprezentând câștigul canalului între antena de emisie i și antena de recepție j (unde $j = 1, 2, \dots, N_R$ și $i = 1, 2, \dots, N_T$). Datele de la un utilizator multiplexat spațial sunt reprezentate ca $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_{N_T}]^T$, iar datele recepționate $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_{N_R}]^T$, unde x_i și y_j reprezintă semnalul transmis de la antena i și semnalul recepționat la antena j , respectiv. Semnalul recepționat poate fi exprimat astfel:

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{z} = h_{11}x_1 + h_{21}x_2 + \dots + h_{N_T,1}x_{N_T} + \mathbf{z}$$

unde $\mathbf{z} = [z_1, z_2, \dots, z_{N_R}]^T$ reprezintă zgomot alb Gaussian cu varianță σ_z^2 la antena de recepție j , și \mathbf{h}_i reprezintă vectorul coloană al i -lea al matricei canalului \mathbf{H} [9].

O implementare Matlab a fost realizată pentru această cercetare pentru a compara rata erorii de bit (BER) a unui sistem MIMO 2×2 utilizând cei doi algoritmi de detecție propuși. Comparația este prezentată în Figura 2.8.

Graficul arată că, în comparație cu detecția Zero Forcing, la un BER de 10^{-3} , detecția MMSE are o îmbunătățire de 3 dB.

Pentru testele din viața reală prezentate în secțiunile următoare, algoritmi de detecție ZF și MMSE au fost implementați și utilizați.

2.2.3 Abordarea configurării bancului de testare

Pentru a dezvolta o platformă SDR pentru integrarea tehnologiei MIMO, au fost implementate atât un banc de testare software, cât și unul hardware. A fost utilizat software-ul open-source GNU Radio [10], cunoscut pentru gama sa largă de aplicații, în special în SDR-uri.

Scopul este de a analiza, folosind platforma de testare construită cu USRP N210 și submodulele WBX/XCVR2450, sistemul MIMO 2×2 , prezentat în Figura 2.9.

Capitolul 2 – Îmbunătățirea ecosistemului 5G cu noi platforme de testare: concepte teoretice și implementări

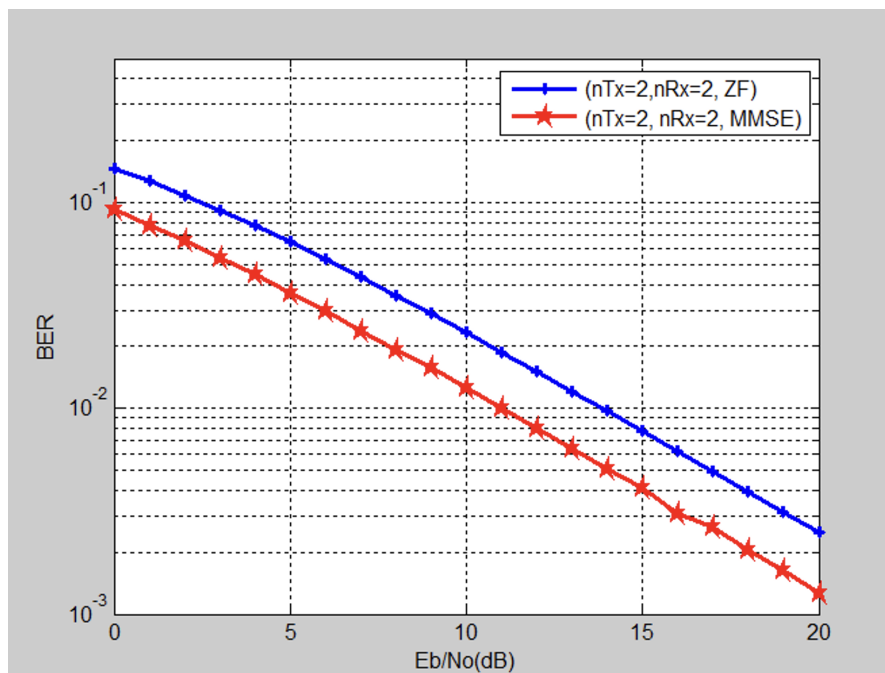


Figura 2.8 BER pentru sistemul MIMO 2×2 (ZF și MMSE)) [8]

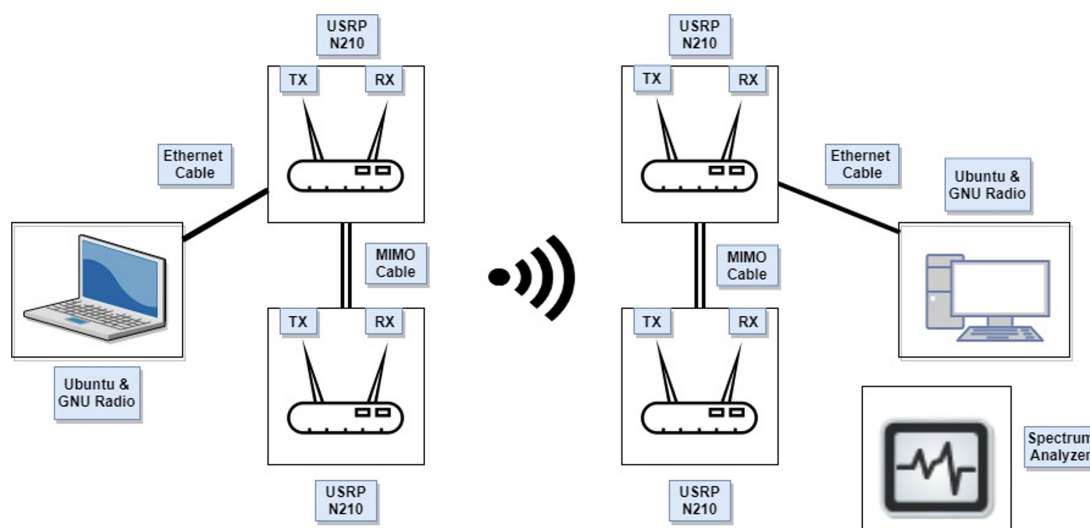


Figura 2.9 Diagrama bloc a bancului de testare [8]

Mediul de dezvoltare ales a fost GNU Radio Companion, în care au fost implementate transmisia și recepția (Figura 2.10).

Pentru a obține configurația dorită, au fost utilizate două plăci USRP N210, fiecare echipată cu un modul transceiver WBX. Frecvența de operare a fost setată la 2 GHz. Fiecare modul WBX include două antene corespunzătoare benzii de frecvență selectate. Este important ca cel puțin o placă USRP să aibă instalat un modul GPS Jackson, deoarece rutina de execuție a programului va verifica prezența acestuia, chiar dacă antena nu este conectată. După ce toate conexiunile hardware au fost realizate pe plăcile USRP, acestea pot fi alimentate cu o tensiune DC de 6 V.

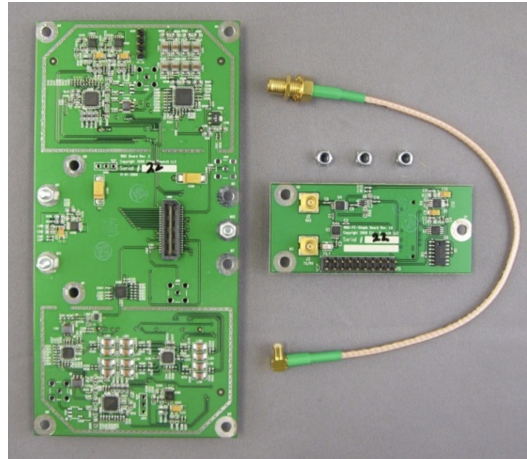


Figura 2.10 Submodulul WBX [8]

Doar o antenă de pe fiecare placă este capabilă să transmită date. A doua antenă este pentru recepționarea datelor, pentru a crea un sistem de comunicație duplex (Figurile 2.11 și 2.12).



Figura 2.11 Transmisie și recepție 2 x 2 MIMO [8]

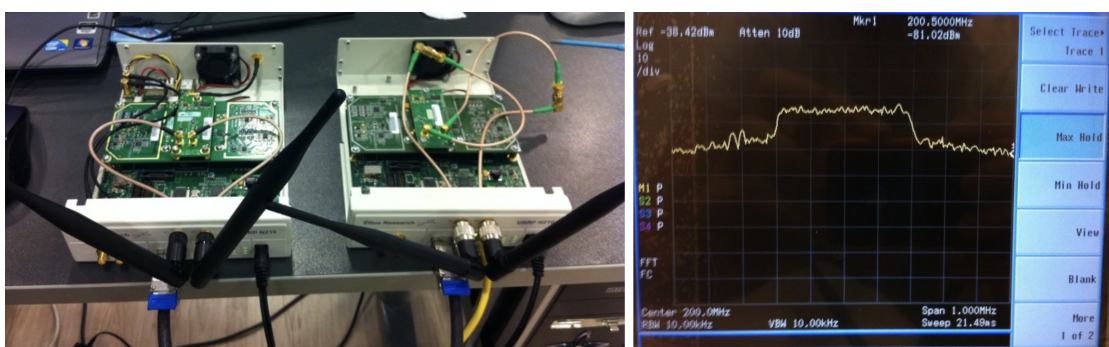


Figura 2.12 Spectrul live OFDM pe analizorul spectral [8]

2.2.4 Rezultate experimentale preliminare pentru sistemul SDR MIMO compatibil 5G în GNU Radio

Pentru a observa capacitatea maximă și rata de eroare a unui canal MIMO care utilizează două antene de emisie și două antene de recepție, două căi de transmisie

Capitolul 2 – Îmbunătățirea ecosistemului 5G cu noi platforme de testare: concepte teoretice și implementări

separate au fost modelate în GNU Radio. Acest lucru a fost realizat prin utilizarea unor surse de date aleatorii modulate OFDM, transmise printr-un canal virtual cu zgomot aditiv, Gaussian alb. După demodulare, datele recepționate au fost comparate cu datele transmise folosind un bloc de calcul al ratei de eroare. Pentru a determina rata de eroare a întregului canal MIMO 2 x 2, media aritmetică a celor două rate de eroare paralele a fost calculată, iar rezultatele au fost stocate într-un fișier. În Figura 2.13, spectrul semnalului modulat OFDM a fost capturat. În continuare, pot fi observate componentele în domeniul timp, fază (I) și cvadratură (Q).

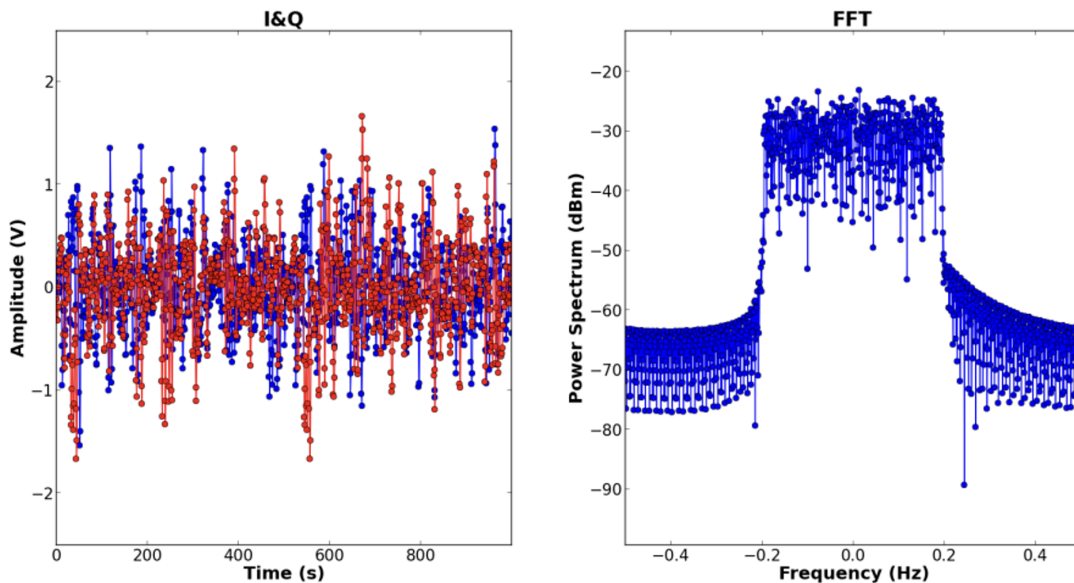


Figura 2.13 Spectrul semnalului modulat OFDM - componentele de fază și cvadratură [8]

În funcție de numărul de tonuri utilizate, spectrul semnalului OFDM poate apărea mai îngust sau mai larg, așa cum este prezentat în Figura 2.14.

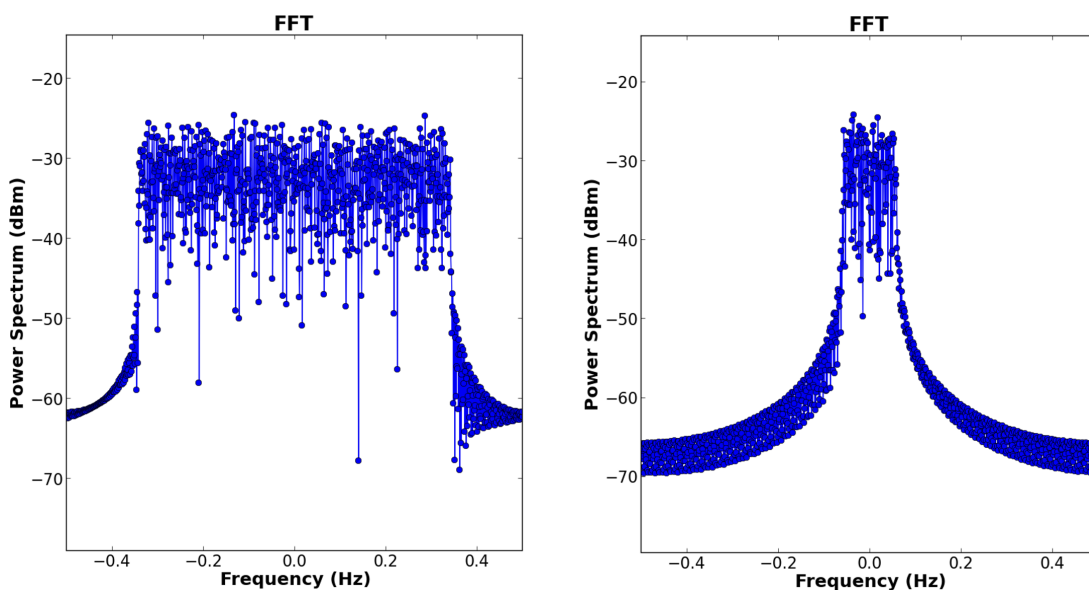


Figura 2.14 Spectrul OFDM, 350 tonuri vs. 50 tonuri [8]

Pentru fiecare antenă de recepție, au fost introduse două blocuri suplimentare: unul pentru a elimina prefixul ciclic specific OFDM și altul pentru a aplica transformata FFT. În această etapă, poate fi aplicat un algoritm de detecție Zero-Forcing sau Minimum Mean Square Error (MMSE) folosind fie un script Python, fie Matlab.

Testarea capacităților de transmitere a datelor

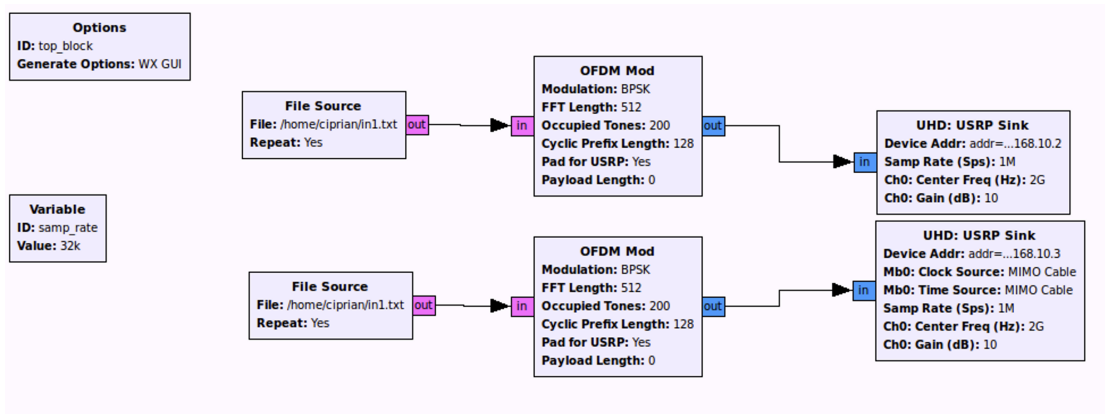


Figura 2.15 Selecția blocurilor pentru graficul semnalului de transmisie [8]

Fluxul de date trebuie să fie supus unui proces de modulație OFDM, care are un prefix de 128, o fereastră FFT cu o lungime de 512 eșantioane, iar modulația simbolurilor este BPSK. Pentru a transmite folosind antenele de emisie, sunt necesare blocuri de tip USRP sink. Informația este trimisă către lanțul de blocuri al sistemului MIMO 2 x 2, prezentat anterior. După ce s-a realizat procesul de detecție și demodulare, datele au fost stocate în fișierul „out.txt” și s-au obținut rezultatele prezentate în Tabelul 2.2.

Tabela 2.2 Statistici de transmisie a pachetelor pentru diferite scheme de modulație [8]

Modulație	Numărul de pachete trimise	Numărul de pachete recepționate	Numărul de pachete corecte	Rata pierderii pachetelor	Rata pachetelor cu erori
BPSK	655	653	644	0.31%	1.68%
QPSK	655	641	447	2.14%	31.75%
16QAM	655	580	379	11.45%	42.13%

BPSK este tehnica de modulație cea mai rezistentă la erori, însă are cea mai lentă viteză de transmisie, necesitând 8,371 secunde pentru a se finaliza. Modulația cu deplasarea fazei în cuadratură (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying) este o tehnică de modulație care introduce erori semnificative. În condiții de laborator, cea mai puțin performantă modulație a fost 16QAM, care a necesitat 2,647 secunde pentru a transmite.

2.2.5 Rezumatul contribuțiilor în bancurile de testare deschise 5G-SDR

Rezultatele bancului de testare oferă dovezi puternice ale posibilităților tehnologiei MIMO și servesc drept o bază solidă pentru dezvoltarea unui banc de testare Massive MIMO la scară largă.

2.3 Contribuții privind agregarea îmbunătățită a purtătoarelor pentru a sprijini cazurile de utilizare 5G

2.3.1 Introducere

Această secțiune abordează nu doar impactul teoretic al tehnologiei de Agregare a Purtătoarelor (CA), ci și configurațiile, implementările și tehnicile rețelelor reale care sprijină viitoarele cazuri de utilizare 5G cu rată de transmisie ridicată. O abordare de îmbunătățire a performanței, utilizând date reale colectate, este dezvoltată pentru a reduce diferența dintre așteptările teoretice referitoare la calitatea experienței (QoE) și rezultatele din lumea reală. Conform datelor capturate, abordarea LTE-CA extinsă în bandă dezvoltată în condiții reale permite rate de date care se apropie de limitele teoretice.

CA este esențială [11] în rețelele 5G. Folosind CA, operatorii de telefonie mobilă pot obține acces la o lățime de bandă de 100 MHz, agregând un număr maxim de 5 purtătoare. Operatorii de telefonie mobilă pot atinge viteze mari de transfer de date fără a deține alocări continue de bandă de frecvență. Aceștia pot realiza acest lucru utilizând multiplexarea statistică, care implică alocarea dinamică a traficului pe diferite purtătoare.

2.3.2 Configurația agregării purtătoarelor

Gama diversificată de combinații de CA oferă o flexibilitate amplă pentru optimizarea utilizării spectrului și reutilizarea treptată a frecvențelor din generațiile anterioare. O ilustrație prezentată în Figura 2.16 arată spectrul de putere al celor 4 purtătoare combinate, dezvoltate folosind LTE System ToolBox, disponibil în Matlab. În cadrul 3GPP, limita superioară pentru lățimea de bandă a canalului este stabilită la 20 MHz atât pentru Long-Term Evolution (LTE), cât și pentru LTE-Advanced. Agregarea purtătoarelor intra-band (CA) este utilizată pentru a crește capacitatea totală în întreaga zonă de acoperire. Versiunea intra-band poate fi fie contiguă, fie necontiguă, sau o combinație a ambelor [12].

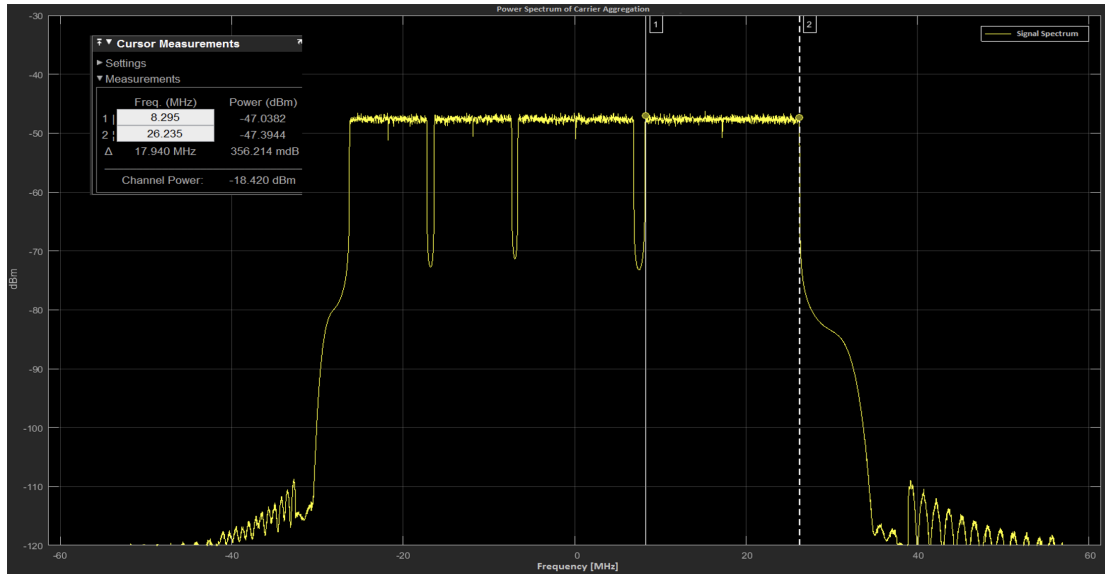


Figura 2.16 Spectrul de putere al agregării purtătoarelor [13]

Agregarea purtătoarelor intra-band

Ecuția 2.2 definește spațierea între purtătoarele intra-band care au fost agregate și poziționate adiacent. Lățimea de bandă a canalului este notată cu $Chbw$, iar spațierea nominală este notată cu NS [14].

$$NS = \frac{(Ch1bw + Ch2bw - 0.1 \cdot |Ch1bw - Ch2bw|)}{0.6} \cdot 0.3 \text{ [MHz]} \quad (2.2)$$

Pentru a păstra ortogonalitatea tonurilor OFDM de 15 kHz, spațierea trebuie să fie cel mai mic multiplu comun dintre 15 și 100 kHz. Astfel, se obține un decalaj de 300 kHz.

2.3.3 Beneficiile și performanțele tehnologiei de agregare a purtătoarelor

CA este un instrument eficient care combină spectrul fragmentat deținut de operatori și oferă rate de transfer mai mari.

Calculul debitului pe legătura descendentă pentru o singură purtătoare

Blocurile de resurse ilustrează corespondența dintre canalele fizice și elementele de resurse. Un bloc de resurse fizic (PRB) este compus dintr-un număr de simboluri OFDM consecutive în domeniul timpului și un număr de subpurtătoare consecutive în domeniul frecvenței [15]. Elementul de resurse (RE) este cea mai mică unitate de resurse disponibilă în LTE. Un RE conține o subpurtătoare, în intervalul unui simbol OFDM sau SC-FDM. Spațierea între subpurtătoare este de 15 kHz pentru LTE. Intervalul de timp reprezintă o perioadă de 0,5 ms pentru cadrul LTE, care corespunde la 7 simboluri

Capitolul 2 – Îmbunătățirea ecosistemului 5G cu noi platforme de testare: concepte teoretice și implementări

OFDM și 7 prefixe ciclice (CP) de câte $5 \mu\text{s}$ fiecare. Un bloc de resurse este alcătuit din 12 subpurtătoare, considerând un interval de timp de 0,5 ms. Un bloc de resurse este compus din 12 subpurtătoare \times 7 simboluri = 84 de elemente de resurse. În plus, un bloc de resurse are 12 subpurtătoare OFDM, astfel lățimea de bandă este de $12 \times 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$. Subcadrul LTE sau intervalul de transmisie a timpului (TTI) are 2 intervale de timp, $2 \times 0,5 \text{ ms} = 1 \text{ ms}$. Prin urmare, cadrul LTE reprezintă 10 ms sau 10 subcadre sau 20 de intervale de timp.

Când debitul de date este calculat, banda de protecție reprezintă 10% din lățimea totală de bandă. Numărul de subpurtătoare va fi $18 \text{ MHz} / 15 \text{ kHz} = 1200$. Numărul de blocuri de resurse va fi $18 \text{ MHz} / 180 \text{ kHz} = 100$. Pentru fiecare sistem informațional, debitul este calculat ca numărul de simboluri pe secundă. Apoi este convertit în biți pe secundă în funcție de numărul de biți pe care un simbol îi poate transporta [16].

În LTE, pentru un canal de 20 MHz, sunt disponibile 100 de blocuri de resurse, fiecare bloc având $12 \times 7 \times 2 = 168$ simboluri pe ms, ceea ce înseamnă 16,8 Msps. Dacă ordinul de modulație utilizat este 64QAM, atunci debitul va fi de $16,8 \times 6 = 100,8 \text{ Mbps}$ pentru o singură secvență de date [17]. Dacă sistemul LTE este implementat cu tehnologia MIMO 2x2, debitul se va dubla, ajungând la 201,6 Mbps. Multe studii arată că 25% din debit este utilizat pentru control și semnalizare. Prin urmare, se obține un debit net teoretic de 151,2 Mbps pentru legătura descendentă. De asemenea, pentru un canal de 10 MHz se obține un debit de 75,6 Mbps. Valorile de debit furnizate sunt procesate fără a lua în considerare codurile de corecție a erorii (FEC), specific producătorului și confidențial operatorului.

2.3.4 Scenariu experimental bazat pe teste de teren

Pentru a evalua performanța unei rețele reale care a implementat tehnologia CA, au fost efectuate o serie de teste de teren în mobilitate.

Demonstrație de agregare a purtătoarelor pentru 2 purtătoare inter-band

Testele au fost efectuate folosind un instrument profesional, SwissQual QualiPoc Freerider III, echipat cu un terminal mobil Samsung Galaxy Note 4, iar post-procesarea a fost realizată cu suita software Rohde&Schwarz. Acest terminal mobil suportă majoritatea benzilor LTE și este de categoria 6, așadar poate atinge viteze de transfer de 300 Mbps pe DL și 50 Mbps pe UL. În aceste teste, au fost descoperite două purtătoare inter-band FDD. Pentru această analiză, purtătoarea de frecvență mai joasă avea o lățime de bandă de 10 MHz, iar cea mai înaltă avea o lățime de bandă de 20 MHz cu 2×2 MIMO. Terminalul mobil a fost configurat pentru a efectua transfer de trafic HTTP.

- Canalul PDSCH (PDSCH) – canalul fizic downlink LTE
- Componenta purtătoare principală (PCC)

- Componenta purtătoare secundară (SCC(i))

Pentru a atinge obiectivul cazului de utilizare, au fost efectuate două teste diferite de transfer HTTP. Durata fiecărui test a fost de 10 s pe sesiune. Industria telecomunicațiilor presupune că rata maximă de vârf de transfer într-un test de 10 s este intervalul de timp potrivit pentru a reflecta capacitățile rețelei și pentru a reacționa la solicitări cu performanță maximă în cel mai scurt timp posibil. În primul test, dispozitivul a fost setat să acceseze pagina web de referință ETSI Kepler cu o dimensiune de 800 kB. Terminalul mobil a reușit un transfer cu o rată de 75 Mbps.

Valoarea debitului agregat a fost de aproximativ 75 Mbps. Deoarece dimensiunea fișierului a fost prea mică, acesta a fost descărcat înainte de a se atinge rata maximă posibilă de transfer.

Nivelul Raportului Semnal-Zgomot de Interferență (SINR) a fost prezentat în Figura 2.17 pentru ambele purtătoare agregate PCC și SCC și pentru ambele antene de recepție mobilă Rx[0] (linie turcoaz) și Rx[1] (linie portocalie). Pentru PCC, Rx[0], s-a obținut un SINR de 25,94 dB, iar pentru Rx[1], un SINR de 25,29 dB. Pentru SCC, Rx[0], s-a obținut un SINR de 22,83 dB, iar pentru Rx[1], un SINR de 21,13 dB.

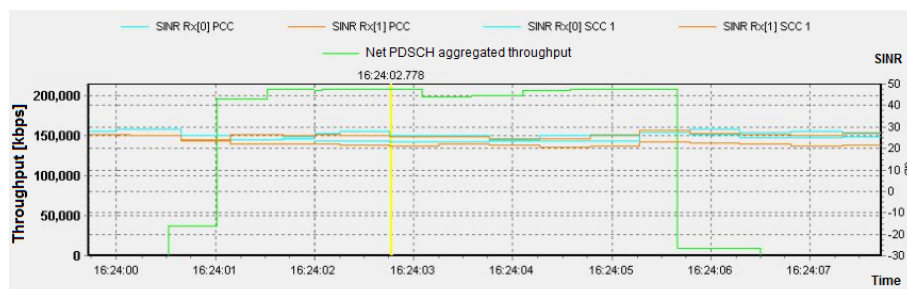


Figura 2.17 SINR pentru PCC și SCC pentru un receptor cu 2 antene încorporate [13]

Valorile SINR rezultate indică condiții radio foarte bune, optime pentru o comunicare de calitate 2 x 2 MIMO între eNodeB și utilizator. Dacă valorile SINR ar fi prea scăzute, acest lucru ar indica necesitatea optimizării acoperirii.

2.3.5 Rezumatul contribuțiilor privind agregarea îmbunătățită

În urma testelor de teren capturate, abordarea propusă LTE-CA cu bandă extinsă în condiții reale permite rate de throughput pentru utilizator mai apropiate de limitele teoretice. Rata de transmisie agregată PDSCH a urmat tendința ratei de transmisie programate.

2.4 Contribuții la rețelele 5G cu distribuția slice-urilor V2X: de la concept la implementare și evaluarea performanței

2.4.1 Introducere

Această secțiune introduce un sistem pentru alocarea resurselor de rețea, concentrându-se pe distribuția slice-urilor, având în vedere prezența simultană a comunicațiilor V2X alături de diverse alte tipuri de trafic. Cadrul este implementat în Python, iar performanța sa este evaluată folosind seturi de date dintr-o rețea reală de la un operator 5G. Studiul simulează pe larg impactul slicing-ului rețelei asupra mai multor metrici de performanță, inclusiv ratele de date pentru V2X, probabilitatea de blocare și raportul de handover, examinând aceste efecte în diferite combinații de tipuri de trafic.

De asemenea, această secțiune subliniază importanța unei alocări corecte a resurselor pentru a echilibra serviciile V2X și alte tipuri de servicii, ținând cont de sarcina de trafic de rețea dintr-o anumită zonă și asigurând calitatea serviciului pentru utilizatorii finali.

2.4.2 Lucrări conexe

Această secțiune rezumă lucrările conexe, care sunt împărțite în două categorii: arhitecturi cu diverse cerințe și soluții de slicing de rețea bazate pe comunicațiile vehicul-vehicul (V2V) și vehicul la infrastructură (V2I).

2.4.3 Prezentare generală a arhitecturii slicing-ului de rețea

Această secțiune prezintă un cadru cuprinzător pentru slicing-ul de rețea.

Arhitectura slicing-ului de rețea

Activat de integrarea SDN și NFV, slicing-ul de rețea este facilitat pe o infrastructură parțial partajată. Infrastructura comună conține două tipuri de hardware: unul fiind hardware-ul dedicat pentru rețelele de acces radio (RAN-uri) și celălalt fiind hardware-ul generic partajat pentru resursele de infrastructură NFV. Funcțiile de rețea care funcționează pe hardware partajat sunt personalizate în funcție de cerințele fiecărui slice, dar nu pot fi aplicate în cazurile în care este obligatoriu hardware dedicat.

2.4.4 Cadrul propus pentru slicing-ul de rețea

În această secțiune, mai întâi este prezentată o descriere generală a cadrului propus pentru slicing-ul de rețea, iar apoi sunt detaliați algoritmi pentru cele trei instanțe de slicing definite în cadrul propus.

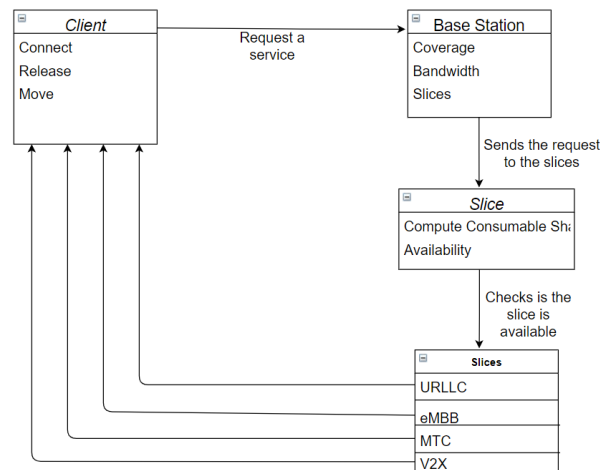


Figura 2.19 Prezentare generală a cadrului propus pentru slicing-ul de rețea [18]

Prezentare generală a cadrului

În Figura 2.19 este prezentată o schiță a cadrului propus pentru slicing-ul de rețea pentru aplicațiile V2X, luând în considerare coexistența traficului eMBB, mMTC și URLLC.

În cadrul acestui cadru sunt definite componente sau instanțe de slicing de rețea, așa cum sunt prezentate mai jos. Cele trei instanțe de slice trebuie să interacționeze și să comunice între ele, așa cum este ilustrat în această figură.

- *Client*: O instanță Client care trebuie instalată în fiecare vehicul.
- *Stație de bază*: Instanța Stației de bază este responsabilă pentru primirea solicitărilor de la clienți și redirecționarea acestora către instanța de Management al Slice-urilor.
- *Slice-uri* sau *Managementul Slice-urilor*: Instanța de Slice verifică disponibilitatea resurselor radio și alocă resursele corespunzătoare fiecărui slice.

Algoritmi pentru cele trei instanțe de slice

În această subsecțiune, se prezintă în detaliu algoritmi care trebuie executați pentru fiecare instanță de slice.

Client

Instanța Client reprezintă utilizatorii finali într-o rețea (UE-uri, dispozitive, vehicule etc.). Există patru pași pe care un client trebuie să îi parcurgă în fiecare ciclu al unei sesiuni de conexiune: Blocare, Statistici, Eliberare, Deplasare.

Blocarea reprezintă momentul în care un client se conectează la cea mai apropiată stație de bază și începe să consume resurse sau se deconectează de la aceasta dacă este

Algorithm 1 Connect function [18]

Input: Slice
Output: Connected clients in coverage

- 1: **if** *Client* is connected **then**
- 2: *Return*;
- 3: **end if**
- 4: *Connect attempt* ++;
- 5: **if** *Slice* is available **then**
- 6: *Connected users* ++;
- 7: *Connected* ← *True*;
- 8: *return True*;
- 9: **else**
- 10: *Assign closest basestation*;
- 11: **if** *Basestation* exists and *slice* is available **then**
- 12: *Handover count* ++;
- 13: **if** Base station exists and *slice* is not available **then**
- 14: *Block count* ++;
- 15: **else**
- 16: *print 'Client is not in coverage'*
- 17: **end if**
- 18: **end if**
- 19: **end if**

Algorithm 2 Release consume function [18]

Input: Client
Output: *Release_consume()*

- 1: **if** *Client* is *connected* and *last usage* > 0 **then**
- 2: *Release _ consume()*;
- 3: **if** *remaining usage* ≤ 0 **then**
- 4: *disconnect*;
- 5: **end if**
- 6: **end if**

deja conectat. Pseudocodul prezentat în Algoritmul 1 descrie funcția de conectare în pasul de blocare și numără utilizatorii conectați la o stație de bază. Contorul de handover crește atunci când se efectuează un handover, iar contorul de blocare crește atunci când o cerere este blocată (când nu există suficiente resurse disponibile în slice).

După aceea, clientul trebuie să elibereze resursele pe care le-a ocupat înainte de a se deconecta, pentru ca următorul/următorii client(i) să aibă resurse disponibile, așa cum este prezentat în Algoritmul 2.

După ce resursele sunt eliberate, clientul poate fi deconectat de la stația de bază. Algoritmul pentru acest pas este prezentat în Algoritmul 3.

Ultimul pas al unui ciclu de conexiune este deplasarea clientului, iar această procedură este prezentată în Algoritmul 4. După stabilirea unei conexiuni cu o stație de bază și consumarea resurselor alocate fiecărui slice solicitat, clienții vor fi deconectați și își pot schimba poziția în spațiu pentru a realiza o nouă conexiune.

Algorithm 3 [18]

Input: Client is connected
Output: Disconnected client

- 1: **if** *connected* == *False* **then**
- 2: *print 'Client is already disconnected from this slice';*
- 3: **else**
- 4: *get slice;*
- 5: *connected users* \leftarrow *connected users* - 1;
- 6: *Connected* \leftarrow *False*;
- 7: *print 'Client connected to this slice';*
- 8: **return** *not connected*;
- 9: **end if**

Algorithm 4 Movement of the client [18]

Input: Initial position of the client (x,y)
Output: Final position of the client

- 1: *x, y take the mobility pattern and generate movement;*
- 2: *x* \leftarrow *x* + *x*;
- 3: *y* \leftarrow *y* + *y*;
- 4: **if** *Base station exists* **then**
- 5: **if** *client is not in coverage* **then**
- 6: *disconnect;*
- 7: *assign closest base station;*
- 8: **end if**
- 9: **else**
- 10: *assign closest base station;*
- 11: **end if**

Pentru a identifica poziționarea clienților și a stațiilor de bază într-o regiune de interes, sunt necesare coordonate. În timp ce stațiile de bază sunt amplasate în locații fixe, poziția fiecărui client este aleatorie și poate varia din cauza mobilității.

Modelul de mobilitate reprezintă distribuția aleatorie a locațiilor clienților. Diverse modele de mobilitate și distribuții ale utilizatorilor (UE) pot fi aplicate în rețelele din viața reală. Totuși, studiul modelului de mobilitate sau al distribuției poziției clienților depășește scopul acestei secțiuni. Odată ce coordonatele (x, y) ale poziției curente ale unui client sunt cunoscute, se poate verifica dacă acesta se află în raza de acoperire a unei stații de bază. Dacă da, cea mai apropiată stație de bază de acel client este atribuită, iar verificarea pentru slice-ul solicitat poate începe.

Managementul slice-urilor

Algoritmul 5 prezintă pseudocodul pentru managementul slice-urilor, inclusiv determinarea clasei QoS și funcțiile corespunzătoare. Funcția care calculează partea consumabilă a fiecărui slice este *get_consumable_share* și obține valoarea minimă între capacitatea inițială a slice-ului (care este calculată conform proporției pentru fiecare slice) și cantitatea maximă de resurse alocate fiecărui slice. Acest pas se efectuează când

Algorithm 5 Slice management class [18]

Input: name, ratio, connected users, client weight, delay, QoS class, guaranteed bandwidth, maximum bandwidth, initial capacity;

Output: Selected slice

```
1: Define the used parameters: name, ratio, connected users, client weight, delay, QoS class,
   guaranteed bandwidth, maximum bandwidth, initial capacity;
2: def function get_consumable_share:
3: if connected users == 0 then
4:   return min(initial capacity, maximum bandwidth);
5: else
6:   return min(initial capacity / connected users, maximum bandwidth);
7: end if
8: def function is_available:
9:   real capacity ← min(initial capacity, maximum bandwidth);
10:
11: next bandwidth for use ← real capacity / (connected users + 1);
12:
13: actual QoS of slice = floor(delay * client weight);
14: if next bandwidth for use < guaranteed bandwidth and
   actual QoS of slice < QoS class then
15:   return True;
16: else
17:   return False;
18: end if
```

niciun client nu este conectat. Când clienții încep să se conecteze, capacitatea inițială scade în consecință, deoarece capacitatea totală este împărțită la numărul de clienți conectați. Următoarea funcție este de a verifica dacă slice-ul solicitat este disponibil, iar acest pas se face cu respectarea capacității celulei și a cerințelor QoS.

2.4.5 Implementare și configurații de rețea

În această secțiune este prezentată o descriere a implementării algoritmilor prezentați în Sec. 2.4.4, iar apoi sunt detaliate configurațiile de rețea ale evaluării performanței bazate pe simulare propusă. Ca studiu de caz, scenariile de rețea sunt construite pe baza implementării reale a stațiilor de bază de către un operator de rețea în orașul București.

Schița implementării

În plus, parametrii QoS necesari în Algoritmul 5 sunt influențați de întârzierea fiecărui serviciu pe care slice-urile îl furnizează și nu depind doar de capacitatea alocată sau disponibilă pentru fiecare slice. Când întârzierea devine semnificativă, QoS-ul obținut va fi scăzut și invers. Nivelurile QoS definite în acest algoritm au 5 valori, unde 5 reprezintă cel mai slab serviciu, iar 1 reprezintă cel mai bun. Pentru toleranța la întârziere sunt considerate 10 niveluri, unde 10 înseamnă cea mai mare toleranță la întârziere și 1 reprezintă cea mai mare sensibilitate la întârziere.

Scenarii și configurații de rețea

Pentru evaluarea performanței, au fost identificate câteva scenarii de utilizare bazate pe pozițiile reale ale celor 11 stații de bază amplasate într-o zonă din apropierea campusului Universității Politehnica din București, așa cum este prezentat în Figura 2.20.



Figura 2.20 Locațiile precise ale celor 11 stații de bază care acoperă o regiune specifică de interes din orașul București [18].

Această regiune a fost selectată ca zonă de interes deoarece există un flux mare de clienți și vehicule și este, de asemenea, o zonă comercială importantă din oraș. În această figură, gNB-urile sunt reprezentate prin cercuri verzi, iar pentru fiecare dintre ele, poziția este redată conform amplasării reale, iar acoperirea este aproximată cu un cerc pentru simplificare. gNB-urile au coordonatele în centrul cercului (marcate prin cercuri verzi), cu raze de acoperire diferite (așa cum este prezentat în Figura 2.21).

Capacitatea fiecărei celule (în Gbps) este împărțită în patru slice-uri, fiecare dedicat unui tip de aplicație, adică eMBB, URLLC, mMTC sau V2X. Alocările de resurse pentru cele patru slice-uri în cele 11 gNB-uri sunt ilustrate în Tabelul 2.3.

Tabela 2.3 Distribuțiile slice-urilor pentru cele patru slice-uri în cele 11 stații de bază [18]

ID BS	Capacitate BS	eMBB[%]	URLLC[%]	mMTC[%]	V2X[%]
922501	25 Gbps	48	30	20	2
910661	30 Gbps	0.3	0.3	0.3	0.1
945911	30 Gbps	20	30	10	40
927241	25 Gbps	45	2	15	38
933301	20 Gbps	45	50	3	2
938721	20 Gbps	14	5	45	36
937121	40 Gbps	28	50	20	2
934101	30 Gbps	47.9	32	2	0.1
933791	30 Gbps	40	30	25	5
934701	20 Gbps	20	55	10	15
927941	35 Gbps	50	5	25	20

Capitolul 2 – Îmbunătățirea ecosistemului 5G cu noi platforme de testare: concepte teoretice și implementări

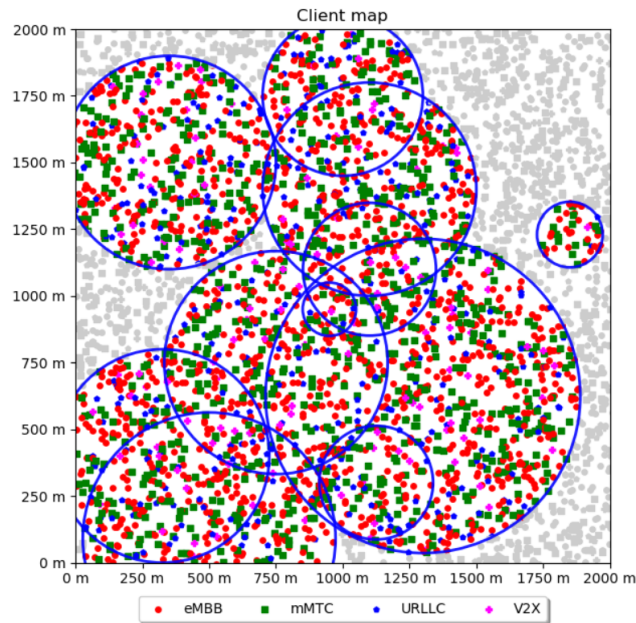


Figura 2.21 Harta distribuției clienților pentru 4000 [18].

Această distribuție a slice-urilor este reprezentată de un raport preconfigurat în fișierul de configurare și dictează ce procent din capacitatea totală a fiecărei celule este alocat fiecărui slice. Este important de menționat că acest raport este reconfigurabil.

Tabela 2.5 Specificațiile fluxului cu privire la cerințele QoS și ratele de date

Slice	Toleranță la întârziere	QoS	Capacitate garantată	Capacitate maximă
eMBB	2	5	100 Mbps	1Gbps
mMTC	10	2	1 Mbps	10 Mbps
URLLC	1	2	5 Mbps	50 Mbps
V2X	1	1	5 Mbps	100 Mbps

Tabela 2.6 Ponderile clienților pentru fiecare slice [18]

Slice	Ponderea clientului
V2X	$\alpha = 0.05$
URLLC	$\alpha = 0.13$
mMTC	$\alpha = 0.32$
eMBB	$\alpha = 0.50$

Pentru a investiga performanța cadrului propus în condițiile unor clase de trafic eterogene, se introduce un parametru configurabil denumit *ponderare*, notat cu α , care dictează distribuția clienților între cele patru categorii de servicii. Este important de menționat că suma tuturor ponderilor trebuie să fie 1. De exemplu, ponderile pentru una dintre simulări sunt ilustrate în Tabelul 2.6, arătând că 5% dintre toți clienții aparțin utilizatorilor V2X, etc. Pentru alte simulări, aceste ponderi sunt reconfigurate la valori diferite pentru a explora impactul slice-ului V2X asupra performanței rețelei.

2.4.6 Simulări și rezultate numerice

Această secțiune prezintă rezultatele obținute din simulări, bazate pe configurațiile de rețea explicate în Secțiunea 2.4.5. Pentru fiecare rulare a simulării, cererile de servicii care au avut loc pe durata unei ore au fost emulate, iar rezultatele raportate în această secțiune sunt valorile medii obținute din mai multe rulări ale simulării și sunt mediate pe valorile obținute pentru toate cele 11 stații de bază. Inițial, se setează valoarea lui α la 0.05 și se procedează la analiza performanței pe baza celor cinci criterii prezentate mai jos. În continuare, în următoarele două subsecțiuni, se analizează performanța pentru fiecare grup de clienți, modificând ponderea clientului α pe măsură ce fracțiunea clienților care au nevoie de servicii V2X crește, în raport cu ultimele trei criterii.

- Rata medie de acoperire: Definită ca aria acoperită de stațiile de bază în raport cu întreaga zonă de interes.
- Rata medie de conexiune: Definită ca numărul de clienți care s-au conectat cu succes împărțit la numărul total de clienți din rețea.
- Resursele medii ocupate: Definite ca fiind cantitatea totală de capacitate a rețelei (în Gbps) utilizată pe toată durata procesului.
- Rata medie de handover: Definită ca procentul de conexiuni active care trebuie să efectueze handover.
- Rata medie de blocare: Definită ca procentul cererilor de conexiune care au fost blocate din cauza lipsei de resurse.

Performanța generală: 2000 versus 4000 de clienți

Când există 2000 sau 4000 de clienți distribuiți în zona de interes, performanța rețelei în termeni de cele cinci metrici definite este ilustrată în Tabelul 2.7.

Tabela 2.7 Comportamentul conectivității: 2000 versus 4000 de clienți [18]

Număr de clienți	2000	4000
Rata medie de acoperire	0.54	0.50
Rata medie de conexiune	0.42	0.36
Resurse medii ocupate (Gbps)	22.578	23.931
Rata medie de blocare	0.1980	0.2201
Rata medie de handover	0.0125	0.0077

Așa cum era de așteptat, mai multe resurse sunt ocupate atunci când numărul de clienți este mai mare. În timp ce 36% dintre clienți sunt conectați în cazul cu 4000 de clienți, rata de conexiune reușită pentru cazul cu 2000 de clienți este doar de 42%. Aceste valori par a fi scăzute în ambele cazuri, dar motivul din spatele acestui comportament este că un număr mare de clienți se află în afara acoperirii oricărei stații de bază (rata medie de acoperire fiind de 54% pentru cazul cu 2000 de clienți și 50% pentru cazul cu

Capitolul 2 – Îmbunătățirea ecosistemului 5G cu noi platforme de testare: concepte teoretice și implementări

4000 de clienți). În ambele cazuri, nu există suficiente resurse radio pentru a conecta mai mulți clienți.

Tabela 2.8 Parametrii de conectivitate pentru 4000 de clienți

Numărul inițial de clienți	4000
Media clienților conectați	0.36
Media utilizării lățimii de bandă	23.931 Gbps
Raportul mediu de acoperire	0.50
Raportul mediu de blocare	0.2201
Raportul mediu de handover	0.0077

2.4.7 Rezumatul contribuțiilor privind slicing-ul de rețea V2X

Impactul slicing-ului de rețea asupra performanței rețelei pentru serviciile V2X a fost examinat pe parcursul acestei secțiuni. În mod specific, s-au investigat efectele integrării slice-ului V2X cu trei slice-uri suplimentare (eMBB, URLLC și mMTC) într-o rețea care include mai multe stații de bază. A fost introdusă o arhitectură de slicing de rețea care cuprinde un set de algoritmi necesari atât clienților, cât și stațiilor de bază. Simulări ample au fost realizate pentru a evalua performanța slicing-ului de rețea, bazate pe o topologie de rețea reală. Investigația ia în considerare diferite configurații de rețea și distribuții ale clienților pe diverse categorii de servicii.

2.5 Considerații dincolo de 5G

Evoluția viitoare a rețelelor 5G (B5G: Dincolo de 5G) este de așteptat să facă tranziția în jurul anului 2030 către tehnologia 6G. Motivul este că 5G își va fi atins limitele până atunci. De exemplu, anumite dispozitive, cum ar fi VR (Realitatea Virtuală), necesită o rată de date de cel puțin 10 Gbps, care depășește capacitățile rețelei 5G [19].

Capitolul 3

5G și UAV-uri pentru a îmbunătăți misiunile în căutare și salvare

Acest capitol prezintă contribuțiile în domeniul Căutării și Salvării (SAR), cu un accent special pe arhitectura sistemului SAR bazat pe 5G, dezvoltată pe parcursul studiilor doctorale.¹

3.1 Căutare și salvare: context și fundament

3.1.1 Salvamont Romania

Salvamont România operează printr-o rețea de 43 de servicii de salvare regionale și locale, răspândite în diferitele lanțuri montane ale țării. Aceste echipe sunt, de obicei, compuse din 1100 de salvatori profesioniști și voluntari, care sunt instruiți în acordarea primului ajutor, alpinism, schi și alte competențe relevante. Salvamont colaborează adesea cu alte servicii de urgență, cum ar fi poliția, armata și echipele medicale, în special în timpul operațiunilor de salvare de mare amploare sau în cazul dezastrelor naturale.

3.1.2 Peisajul românesc

România găzduiește peste 12.000 de peșteri [20], multe dintre ele situate în sau în apropierea regiunilor montane. Speologia, sau explorarea peșterilor, este o activitate populară, dar riscantă, care poate duce la accidente, inclusiv pierderi, blocaje sau răniri. Numărul mare de peșteri adaugă un grad de complexitate și amploare operațiunilor de salvare pe care Salvamont trebuie să fie pregătit să le gestioneze.

¹Declinarea responsabilității: Acest material de lucru este produs și descris pentru a prezenta o inițiativă menită să sprijine echipele de intervenție pentru salvarea de vieți și nu este destinat să promoveze agenți economici, companii sau să facă reclamă produselor ale căror logo-uri pot apărea în imagini și care nu au putut fi eliminate sau neutralizate. Rezultatele au fost obținute în urma cercetărilor efectuate, având impact în scenarii din viața reală pentru salvarea de vieți omenești.

3.1.3 Provocarea și necesitatea

Terenul accidentat al Munților Carpați, abundent în chei adânci și pereți stâncoși abrupti, face aproape imposibilă acoperirea mobilă celulară pe întreaga suprafață montană și, implicit, posibilitatea ca oamenii să poată cere ajutor. Terenul dificil îngreunează, de asemenea, localizarea victimelor de către echipele de căutare și salvare. În fiecare an, Salvamont participă la peste 7200 de operațiuni de salvare [21].

În 2023, salvatorii Salvamont au fost trimiși să intervină în 6.548 de operațiuni de salvare și Resuscitare Cardio-Pulmonară (CPR), intervenții în care au fost salvate 8.026 de persoane. Dintre acestea, 4272 de acțiuni au avut loc în sezonul de iarnă, majoritatea legate de sporturile de iarnă, în timp ce 2221 de acțiuni au avut loc în sezonul de vară. Un număr de 110 acțiuni au fost desfășurate în locații greu accesibile, în afara zonei montane, unde a fost solicitată intervenția salvatorilor [22].

3.2 Soluția propusă

3.2.1 Răspunsul tehnologic

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

3.2.2 Beneficii

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

3.2.3 Arhitectura propusă a sistemului de căutare - salvare bazată pe 5G

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

3.2.4 Descrierea operațională a sistemului de căutare - salvare

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

3.2.5 Integrarea cu soluția software SARUAV

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

3.3 Rezultate experimentale obținute în timpul campaniei de măsurători 5G în scenariii SAR

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

3.3.1 Scenariul 1: Salvare montană – zone rurale, izolate - Vârful „Vârful lui Roman”

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

3.3.2 Scenariul 2: Urban – siguranță publică, recuperare după dezastre, bulă tactică

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de revistă în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

Capitolul 4

Impactul dronelor în opt industrii

4.1 Autostrăzi pentru drone activate de 5G

Datele din rețeaua mobilă pot fi folosite pentru a ajuta dronele să zboare, fie că este vorba de accesul de rutină în zone greu accesibile, livrarea de provizii salvatoare către spitale sau acționarea ca primii respondenți în caz de accidente, ajutând echipajele de urgență să ajungă pregătite. Prin intermediul API-urilor de rețea, explicate anterior, platformele de gestionare a traiectoriei de zbor permit operațiuni manuale și autonome prin slice-uri de rețea 5G personalizate, creând autostrăzi virtuale pentru drone sau coridoare pentru drone.

Soluția propusă este o platformă integrată pentru operațiuni UAV la distanță și planificarea misiunilor (Figura 4.1), care reduce costurile de intrare și barierele de complexitate pentru misiuni de tipuri multiple și furnizorii de servicii de afaceri, democratizând accesul la afacerile cu drone.

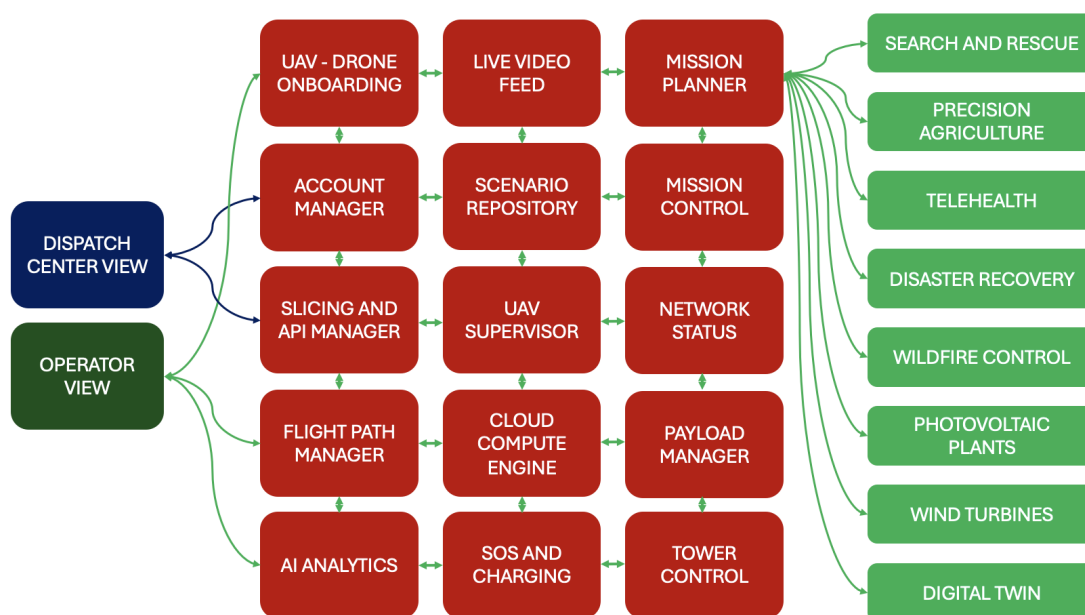


Figura 4.1 Platforma dezvoltată pentru operațiuni UAV

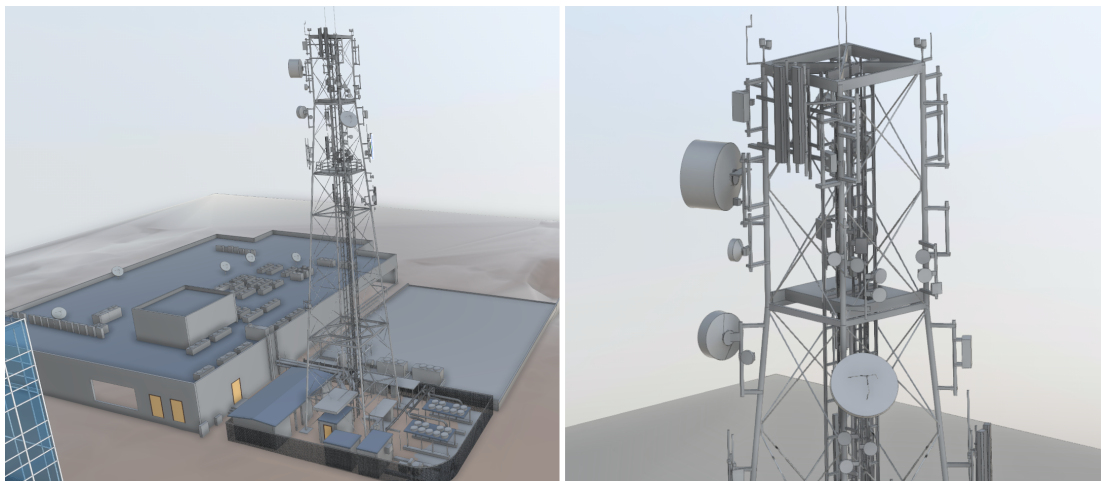


Figura 4.2 Fotograme capturate personal, procesate cu platforma MYX Robotics [23]

Este o platformă Open API agnostică față de furnizor, activată prin 5G, care poate fi utilizată cu ușurință pentru procesarea diferitelor tipuri de date din diverse surse, valorificând cele mai puternice motoare AI/ML din cloud disponibile în timp real. Managerul de traiectorie de zbor al platformei permite operațiuni manuale și autonome prin slice-uri de rețea 5G personalizate, creând autostrăzi virtuale pentru drone. Modulul Secure Guard garantează parametrii de zbor pentru siguranța și conformitatea misiunii, precum și detectarea și prevenirea comportamentului ilegal. Sistemul are supraveghere civilă a aviației în timp real și poate genera și trimite automat formulare legale pentru aprobarea oficială a misiunilor. Acesta permite integrarea dronelor comerciale și industriale personalizate și configurarea cu orice accesorii specifice misiunii.

Printre primele proiecte care au implicat utilizarea dronelor a fost realizarea unui geamăn digital al infrastructurii de rețea Vodafone (Figura 4.2), cu scopul de a reduce timpul petrecut pentru inspecție, scanare, proiectare și întreținere, având un impact direct asupra siguranței și securității inginerilor.

4.2 Producția de energie durabilă bazată pe comunicații 5G și inspecția cu UAV-uri

4.2.1 UAV-urile in producția de energie

În contextul monitorizării și menținerii eficienței unei ferme fotovoltaice (PV), este important să recunoaștem că elementele panourilor solare se pot deteriora treptat în timp. Această degradare are loc incremental, ducând la o scădere treptată a producției de energie, ceea ce poate avea implicații financiare semnificative pe perioade extinse. Pentru a determina dacă a existat o scădere a producției de energie la ferma PV studiată, s-a efectuat o inspecție termică a panourilor folosind o dronă.

Inspecțiile regulate ale panourilor solare sunt adesea subestimate, având în vedere convingerea comună că orice probleme ar fi vizibile printr-o scădere a producției de energie. Cu toate acestea, această abordare nu este eficientă pentru identificarea defectelor, deoarece fluctuațiile zilnice ale factorilor meteorologici, precum temperatura, umiditatea, acoperirea cu nori, lumina solară și unghiul radiației, fac dificilă realizarea unor comparații precise. Deși probleme majore, cum ar fi oprirea invertoarelor, pot fi detectate în funcție de dimensiunea parcului solar și de sistemul de monitorizare instalat, chiar și atunci, identificarea exactă a locației panourilor și invertoarelor afectate poate fi o provocare.

4.2.2 Centrul de Cercetare și Tehnologii Avansate pentru Ferma Fotovoltaică de Energie Alternativă

Centrul de Cercetare și Tehnologii Avansate pentru Energie Alternativă (CETATEA) a fost înființat ca parte a tranziției mai ample către energie regenerabilă.

4.2.3 Detectarea anomaliilor panourilor fotovoltaice

Pentru a determina dacă a existat vreo reducere a producției de energie la ferma fotovoltaică, s-a efectuat o inspecție termică a panourilor folosind o dronă. Această metodă este extrem de fiabilă și precisă, utilizând echipamente de ultimă generație pentru a asigura date de cea mai înaltă calitate.

O dronă de grad industrial (mai exact, DJI M300 RTK) echipată cu o cameră de termoviziune (senzorul Zenmuse H20N cu o rezoluție de 640×512 pixeli pentru imagini termice) a fost utilizată. Acest echipament permite generarea de rapoarte automate care identifică anomaliile și furnizează date precise pentru comparație. Gama de temperatură a senzorului variază de la -20°C la 150°C în modul High Gain și de la 0°C la 500°C în modul Low Gain, cu o bandă spectrală de 8-14 μm și o sensibilitate (NETD) de ≤ 50 mK la o deschidere de f/1.0.

Trei tipuri de anomalii au fost inspectate: (1) defecte ale celulelor solare, (2) probleme ale diodelor și (3) defecțiuni ale invertoarelor. Primul pas a implicat examinarea panourilor PV pentru puncte fierbinți sau defecte ale celulelor solare, care sunt cele mai frecvente probleme (Figura 4.3). Umbrirea unui modul sau o celulă defectă poate face ca modulul să treacă de la producerea de energie la consumarea acesteia, ducând la încălzirea celulei, care apare ca un punct fierbinte în imaginile termice. Celulele defecte prezintă o rezistență electrică mai mare, transformând energia în căldură.

Temperaturile înregistrate ale celulelor solare afectate variază între 55.6°C (SP2) și 79.3°C (SP3), așa cum este detaliat în Tabelul 4.1.

Pentru un panou fotovoltaic funcțional, scanarea termică arată o temperatură minimă de funcționare de 58.6°C și o temperatură maximă de 60.9°C (Figura 4.5). Temperaturile

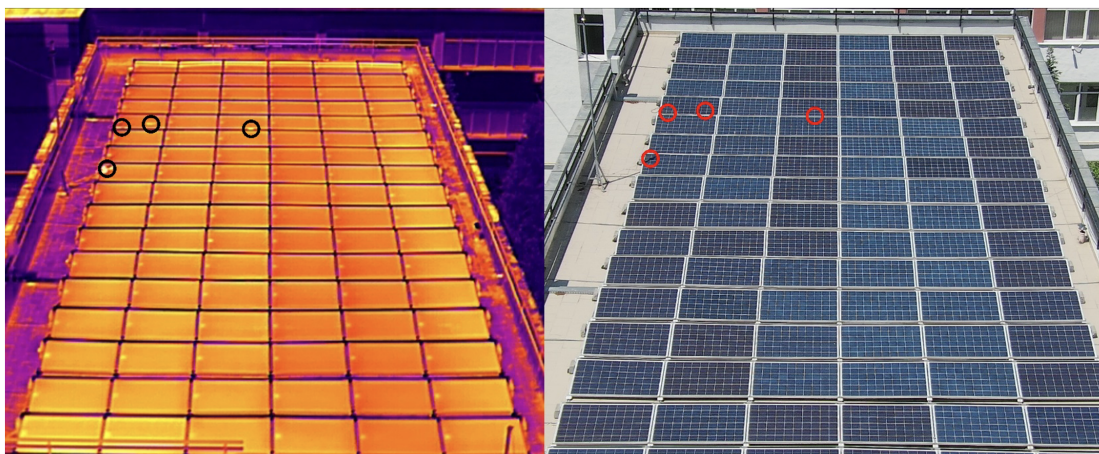


Figura 4.3 Scanarea termică utilizând inspecția cu dronă afișează punctele fierbinți pe ferma fotovoltaică [24]

Tabela 4.1 Măsurători ale temperaturii în diferite puncte ale sistemelor fotovoltaice [24].

Punct de măsură	Temperatura măsurată
SP1	62.0° C
SP2	55.6° C
SP3	79.3° C
SP4	61.1° C
SP5	63.2° C
SP6	58.4° C
SP7	68.5° C
SP8	59.3° C



Figura 4.5 Valorile temperaturii pe un panou sănătos

mai ridicate listate în Tabelul 2 (de exemplu, 79.3°C pentru SP3, 63.2°C pentru SP5 și 68.5°C pentru SP7) confirmă prezența punctelor fierbinți pe cele trei panouri defecte, afectând un total de opt celule.

Un exemplu de panou sănătos prezintă o temperatură maximă de 60.9°C și o temperatură minimă de 58.6°C, ceea ce concluzionează o temperatură medie de 59.8°C, care reprezintă o temperatură normală de funcționare, și nu au fost detectate puncte fierbinți anormale.

4.2.4 Concluzii

Inspecțiile termice cu drona sunt extrem de eficiente pentru identificarea acestor tipuri de defecte și sunt considerate printre cele mai eficiente metode de evaluare a centralelor

fotovoltaice. Această tehnologie este neprețuită nu doar în faza de proiectare—unde ajută la crearea de planuri de ortofotomozaic, calcularea indicilor de umbrire și optimizarea orientării panourilor—ci și în faza de punere în funcțiune pentru a asigura că totul funcționează conform așteptărilor. În plus, inspecțiile regulate în timpul fazei de operare, în special înainte de expirarea garanției panourilor, pot ajuta la identificarea și înlocuirea panourilor defecte fără a suporta costuri suplimentare.

În concluzie, inspecția termică sugerează că producția de energie a panourilor fotovoltaice de la CETATEA este eficientă și se aliniază cu producția estimată.

Capitolul 5

Rețea deschisă inovatoare 5G dezvoltată în Hub-ul de Inovare și Cercetare-Dezvoltare

5.1 Rețeaua deschisă 5G și UAV-urile întâlnesc Hub-ul de Inovare Vodafone: misiune și obiective

Hub-ul de Inovare Vodafone (Figura 5.1) este un proiect semnificativ pe care l-am condus în timpul cercetării mele, având scopul de a lăsa o moștenire pentru generațiile viitoare. Situat în cadrul Universității Naționale de Știință și Tehnologie Politehnica din București (UPB), Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, hub-ul a fost înființat prin implicarea activă și contribuțiile substanțiale ale autorului acestei teze. Acest proiect, inițiat de autorul tezei împreună cu Vodafone România ca centru de excelență pionier al universității, funcționează ca un hub multidisciplinar concentrat pe educație, cercetare și sprijin antreprenorial. Acesta reunește diverse discipline academice din domeniile electronicii, telecomunicațiilor și tehnologiei informației, promovând o atmosferă inovatoare care face legătura între cerințele academice și cele ale industriei.

5.2 Implementarea stației de bază 5G deschise

5.2.1 Arhitectura rețelei 5G

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din cauza drepturilor intelectuale și a intenției de a o disemina într-un articol de jurnal în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.



Figura 5.1 Hub-ul de Inovare Vodafone: înainte și după

5.2.2 Arhitectura sistemului OpenRAN

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de jurnal în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

5.2.3 Arhitectura la nivel înalt a 5G in a Box

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de jurnal în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

5.2.4 Prototipul fizic al 5G in a Box

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de jurnal în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

5.2.5 Scenarii și măsurători de test pentru 5G in a Box

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de jurnal în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

Pioneering Open 5G-enabled applications for social impact and Tech for Good: From radio communications optimization to life-saving innovations

5.2.6 Evaluarea interfeței aeriene pentru funcționalitatea 5G in a Box

Cercetarea din această secțiune este disponibilă integral în teza depusă și, din motive de drepturi intelectuale și intenția de a o disemina într-un articol de jurnal în maximum 24 de luni, nu este inclusă în acest rezumat care va fi încărcat pe Internet.

Capitolul 6

Concluzii

6.1 Rezultate obținute

Teza pune accentul pe studiul tehnologiilor eterogene care contribuie ca declanșatori Tech for Good și facilitatori ai impactului social: acoperirea radio mobilă în zone izolate, elementele cheie ale rețelelor mobile 5G, precum tehnologia MIMO ca fundație pentru Massive-MIMO, agregarea purtătorilor pentru o lățime de bandă mai mare și date sporite, diferite scheme de modulație și algoritmi de detecție, caracteristica revoluționară a rețelelor 5G de tip network slicing, activată de nucleul 5G Standalone, care va schimba radical capacitățile sectorului industrial, rețele 5G deschise, open RAN, open Core, virtualizarea rețelelor, drone personalizate, celule 4G/5G pe drone și 5G in a Box pentru a demonstra implementări inovatoare și compacte. În plus, evidențiază o largă panoplie de rezultate experimentale care validează interoperabilitatea și performanța acestora.

De exemplu, în Capitolul 2, cele mai inovatoare descoperiri ale studiului meu se concentrează pe apariția 5G, pe care l-am identificat ca o tehnologie transformatoare, capabilă să permită o gamă largă de aplicații avansate. Prin implementarea unor noi tehnologii precum MIMO, OFDM și network slicing, precum și a benzilor de frecvență agregate, 5G nu numai că atinge o lățime de bandă mobilă îmbunătățită, dar sprijină și comunicații ultra-fiabile cu latență scăzută și comunicații masive de tip machine-type. Cercetarea mea anticipează, de asemenea, dezvoltarea continuă către 6G, care promite să ridice și mai mult capacitățile rețelelor.

În plus, lucrarea asupra agregării avansate a purtătorilor (Carrier Aggregation - CA) evidențiază rolul esențial al acesteia în creșterea ratelor de transfer de date și îmbunătățirea performanței generale a rețelei, în special în cadrul 5G. Prin testări extinse în teren și evaluări practice, am dezvoltat o abordare aplicabilă în lumea reală, care aduce ratele de transfer ale utilizatorilor mai aproape de maximele teoretice, subliniind importanța CA atât pentru rețelele LTE actuale, cât și pentru rețelele 5G viitoare. Această cercetare subliniază necesitatea optimizării frecvenței radio și a condițiilor de acoperire pentru a demonstra beneficiile tehnologiei CA (de exemplu, îmbunătățirea SINR). De

Pioneering Open 5G-enabled applications for social impact and Tech for Good: From radio communications optimization to life-saving innovations

asemenea, sprijină tranziția către 5G prin integrarea agregării multi-purtătoare, a schemeilor avansate de modulație precum 256QAM și a tehnologiei massive MIMO. Concluziile oferă operatorilor de telefonie mobilă informații valoroase despre valorificarea spectrului fragmentat și selectarea purtătoarelor optime pentru a îmbunătăți performanța rețelei, demonstrând în cele din urmă că CA este o caracteristică esențială atât pentru rețelele mobile existente, cât și pentru cele de generație următoare.

În cele din urmă, Capitolul 2 studiază impactul network slicing asupra serviciilor V2X prin analiza integrării unei felii V2X cu alte felii, cum ar fi eMBB, URLLC și mMTC, într-o rețea care cuprinde multiple stații de bază. O arhitectură de network slicing, împreună cu algoritmi pentru clienți și stații de bază, a fost dezvoltată și testată riguros prin simulări extinse bazate pe o topologie reală a rețelei. Rezultatele arată că performanța rețelei, în ceea ce privește utilizarea resurselor, eficiența handover-ului și blocajele, variază în funcție de numărul de clienți și distribuția acestora în diferite categorii de servicii. Studiul subliniază importanța unei alocări echitabile a resurselor între felii pentru a asigura o performanță optimă în diverse scenarii de implementare a rețelei și de trafic.

Capitolul 3 a relevat că integrarea tehnologiei 5G și a vehiculelor aeriene fără pilot (UAV) în operațiunile de Căutare și Salvare (SAR) a avut un impact semnificativ asupra modului în care sunt desfășurate misiunile în regiunile montane dificile ale României. Prin valorificarea unui sistem UAV personalizat, echipat cu antene de mare putere și inteligență artificială, salvatorii pot acum extinde acoperirea rețelei mobile în zone izolate, anterior inaccesibile prin metode tradiționale. Această abordare inovatoare, dezvoltată printr-o colaborare între Salvamont România și Vodafone România, permite dronelor să ofere acoperire mobilă pe o rază de până la 10 kilometri, în funcție de teren, asigurând că persoanele aflate în dificultate pot să se conecteze la serviciile de urgență chiar și în cele mai accidentate zone. În plus, dronele captează imagini de înaltă rezoluție, care sunt analizate de software-ul SARUAV AI pentru a detecta și localiza rapid persoanele dispărute. Întregul sistem, inclusiv o unitate mobilă de telecomunicații găzduită într-o mini-rulotă, este conceput pentru a fi eficient din punct de vedere al costurilor, scalabil și rapid de desfășurat, fiind un instrument revoluționar în misiunile de salvare de viață. Implementarea la nivel național a acestei tehnologii în 14 centre de analiză a datelor a redus semnificativ timpul de căutare, a crescut rata de succes a operațiunilor SAR și a stabilit un nou standard pentru eforturile de salvare în medii dificile, sprijinind deja salvarea a două persoane în viață.

În Capitolul 4, este introdusă adoptarea pe scară largă a „autostrăzilor” pentru drone echipate cu 5G. Aceasta reprezintă un pas semnificativ înainte în adoptarea UAV-urilor în diverse industrii, transformând modul în care acestea operează și interacționează cu mediile lor. Mai mult, acest capitol explorează impactul profund pe care dronele, îmbunătățite de tehnologia 5G, îl au asupra a opt sectoare cheie, inclusiv producția de energie și infrastructura de telecomunicații. Integrarea inovatoare a dronelor în aceste

domenii nu doar că a eficientizat operațiunile, dar a redus și costurile, a crescut eficiența și a îmbunătățit siguranța. De exemplu, în producția de energie, în special în fermele solare, dronele echipate cu camere de imagistică termică pot detecta rapid defecte în panourile fotovoltaice, asigurând performanțe optime și minimizând pierderile financiare cauzate de degradarea neobservată a producției de energie. Introducerea autostrăzilor pentru drone, care se bazează pe felii de rețea avansate 5G, permite acestor UAV-uri să opereze dincolo de linia vizuală, deschizând noi posibilități pentru misiuni autonome în zone greu accesibile și sporind capacitățile industriilor care depind de date precise și la timp. Pe măsură ce dronele devin mai integrate în aceste sectoare, ele sunt pregătite să îmbunătățească metodele tradiționale, oferind o alternativă sustenabilă, eficientă și mai sigură, care valorifică cele mai recente progrese tehnologice.

Capitolul 5 relevă modul în care Hub-ul de Inovare Vodafone de la Politehnica București, condus de autorul tezei, a avansat semnificativ integrarea tehnologiilor de ultimă oră în cercetarea și educația academică. Infrastructura hub-ului, incluzând rețele 5G, platforme IoT și UAV-uri, a permis dezvoltarea unor proiecte inovatoare în diverse domenii, cum ar fi dronele inteligente pentru monitorizarea mediului. Aceste realizări științifice nu doar că au îmbunătățit înțelegerea practică și teoretică a tehnologiilor emergente în rândul studenților, dar au și promovat colaborarea interdisciplinară, rezultând soluții concrete care fac legătura între mediul academic și industrie.

În plus, Capitolul 5 prezintă soluția „5G in a Box” dezvoltată în cadrul acestei teze, pe baza resurselor tehnologice din Hub-ul de Inovare Vodafone, cu toate scenariile și experimentele propuse și realizate pentru a evalua performanța cheie a rețelelor Open RAN și 5G. Proiectul „5G in a Box” exemplifică o abordare inovatoare pentru implementarea unei rețele complete 5G Standalone (SA) într-un format compact și portabil, utilizând software open-source și hardware disponibil comercial. Prin integrarea srsRAN pentru rețeaua de acces radio (RAN) și Open5GS pentru rețeaua de bază, proiectul demonstrează o soluție flexibilă și rentabilă, care face tehnologia 5G mai accesibilă pentru o gamă largă de aplicații, inclusiv cercetare, educație și desfășurări de teren specializate.

6.2 Contribuții originale

1. În primul rând, am propus o abordare inovatoare pentru studenți, viitori ingineri și experți din domeniul comunicațiilor radio, pentru a înțelege că, pornind de la fundamentele teoretice, urmate de experimente practice pe bancuri de testare, o idee poate deveni o implementare reală care salvează vieți.
2. Am adus în prim-plan adevărata evoluție a rețelelor radio mobile, demonstrând cu rezultate experimentale impactul acestora în diverse domenii.

Pioneering Open 5G-enabled applications for social impact and Tech for Good: From radio communications optimization to life-saving innovations

3. Am proiectat și implementat primul banc de testare de radio definit prin software în cadrul Universității POLITEHNICA pentru a demonstra tehnologia reală a sistemelor radio MIMO cu multiplexare spațială, înainte ca această funcționalitate să fie prezentă în orice rețea comercială.
4. Am reușit să creez o imagine de ansamblu puternică ca un ghid pentru înțelegerea modului în care rețelele 5G funcționează în rețelele din viața reală.
5. Am testat diferite configurații ale bancului de testare MIMO SDR pentru a diferenția impactul diferitelor scheme de modulație, lățimi de bandă ale canalelor și algoritmi de detecție.
6. Am proiectat și desfășurat o campanie de măsurători cuprinzătoare pentru a demonstra puterea unei tehnologii critice din 5G, numită Agregarea Purtătorilor (Carrier Aggregation).
7. Am dedus o nouă ecuație și am demonstrat modul în care este calculată rata de transmisie pe un telefon mobil.
8. Am implicat diferite echipamente profesionale în testele de teren pentru a demonstra impactul acestei tehnologii direct asupra experienței utilizatorului final.
9. Am implementat un Orchestrator complet virtualizat de Network Slicing 5G pentru a demonstra evoluția 5G și impactul acestei noi tehnologii de alocare dedicată a resurselor în cazurile de utilizare de generație următoare, care necesită latență ultra-redușă, fiabilitate și transfer masiv de date.
10. Am concentrat studiul și partea experimentală pe sisteme de mobilitate precum V2X, cu scopul clar de a pregăti noul concept numit autostrăzi pentru drone, care necesită conexiune 5G pentru operațiuni dincolo de linia vizuală (BVLOS).
11. Am propus o metodologie de evaluare a performanței pentru orchestratorul de network slicing pentru a evalua numărul maxim de utilizatori care pot fi acomodați.
12. Am proiectat un sistem unic numit „Celula zburătoare”, care aduce acoperire radio mobilă cu toate tehnologiile, inclusiv 5G, în zonele montane izolate pentru a sprijini misiunile de căutare și salvare ale Salvamont România.
13. Am avut o contribuție importantă în proiectarea arhitecturii și în crearea primului prototip funcțional care a fost testat pe teren.
14. Am propus ideea de a construi o dronă care poate fi echipată cu o antenă de frecvență radio.
15. Am propus soluția de procesare a datelor să fie implementată într-un mod foarte compact într-o mini-rulotă.
16. Am desfășurat diverse campanii de măsurători în munți cu echipele Salvamont pentru a ajusta parametrii rețelei conform nevoilor lor.

Capitolul 6 – Concluzii

17. Am testat și adaptat diverse configurații de antene și echipamente la sol pentru a găsi cea mai bună implementare care oferă performanță maximă în scenariu de sarcină grea, indiferent de condițiile meteorologice.
18. Pentru a acoperi diverse scenarii în misiunile de salvare montană, am contribuit la fazele de implementare, testare, ajustare și instruire pentru sistemul SARUAV de detectare automată a indiciilor bazat pe AI, dezvoltat de SARUAV Polonia.
19. Am sprijinit Salvamont în extinderea acestui proiect cu sprijinul Vodafone România în 14 județe din România.
20. Am demonstrat, cu sprijinul echipelor SAR, că acest set de tehnologii poate salva vieți omenești, pe baza a două cazuri reale raportate cu persoane găsite în viață în zone rurale din România, utilizând drone.
21. Am contribuit la implementarea primei stații de bază 4G/5G integrată printr-o rețea de comunicații prin satelit LEO, care a conectat celula dronă la rețeaua centrală a Vodafone România.
22. Am propus un nou scenariu implicând turnul celulei dronei pentru siguranța publică urbană, recuperarea după dezastre și o bulă tactică pentru autorități.
23. Am efectuat teste și încercări în scenarii dificile, înconjurate de clădiri, populație numeroasă și o densitate mare de turnuri macro celulare standard urbane.
24. Am demonstrat diverși parametri de performanță pentru a valida cu succes soluția turnului celulei dronei chiar și în zone urbane.
25. Am propus o nouă platformă software de ultimă generație pentru noile generații de drone, care acoperă opt industrii pentru activități profesionale.
26. Am contribuit și am operat evaluarea practică pentru o inspecție inovatoare a infrastructurii de panouri fotovoltaice, în colaborare cu INCDTIM Cluj-Napoca, demonstrând impactul și utilitatea dronelor echipate cu camere cu vedere termică în mentenanța preventivă a unor astfel de active.
27. Am propus și proiectat, în numele Vodafone România și Politehnica București, primul centru de excelență multidisciplinar din cadrul Facultății ETTI, numit Vodafone Innovation Hub.
28. Am contribuit la întregul infrastructură educațională, didactică și la bancurile de testare tehnologice implementate în hub pentru a oferi studenților acces la învățare și la construirea de prototipuri, având un accent puternic pe cercetare și dezvoltare.
29. Am generat un concept personalizat numit „5G in a Box” pentru a demonstra puterea viitoarelor rețele Open 5G și am contribuit la implementarea acestui sistem în Vodafone Innovation Hub.
30. Am contribuit la crearea unei implementări complet open-source pentru RAN și CORE, oferind un diferențiator inovator în comparație cu alte implementări,

Pioneering Open 5G-enabled applications for social impact and Tech for Good: From radio communications optimization to life-saving innovations

rulând întregul sistem pe un mic Raspberry Pi 5 și apoi decuplând partea de core pe un server puternic pentru o performanță generală mai bună.

31. Am propus și implementat un nou sistem de drone bazat pe sistemul „5G in a Box” adaptat pentru a demonstra conceptul de bulă tactică 5G pentru misiuni critice. Este demn de menționat că, în același timp, sistemul poate fi transformat într-un scanner pentru calitatea și parametrii rețelei, pentru a evalua condițiile radio pentru viitoarele autostrăzi pentru drone.
32. Am contribuit la propunerea de diferite scenarii și configurații pentru a evalua capacitățile sistemului „5G in a Box” și potențialul rețelelor Open 5G pentru aplicații personalizate.
33. Am contribuit la implementarea handover-ului folosind două sisteme „5G in a Box” care acționează ca două celule radio pentru o rețea cognitivă.
34. Am lăsat o moștenire prin uimitorul hub de inovație educațională, unde ideile devin realitate cu sprijinul noilor tehnologii și prin propunerea a două soluții inovatoare care vor stabili direcțiile în domeniul comunicațiilor radio.

6.3 Lista publicațiilor originale

Articole în reviste

- [J1] C. Zamfirescu, R. Iugulescu, R. Crăciunescu, A. Vulpe, F. Y. Li, and S. Halunga. Network slice allocation for 5G V2X networks: A case study from framework to implementation and performance assessment. *Vehicular Communications*, vol. 45, pp. 100691, February 2024. (ISI, Q1, IF: 5.8).
- [J2] A.-M Drăgulinescu, C. Zamfirescu, S. Halunga, I. Marcu, F. Li, and O. Dobre. Understanding LoRaWAN Transmissions in Harsh Environments: A Measurement-based Campaign through Unmanned Aerial/Surface Vehicles. *IEEE Trans. on Instrum. & Meas.*, vol. 73, pp. 1-14, 2024, Art no. 5501514, 2024. (ISI, Q1, IF: 5.6).
- [J3] A.-M Drăgulinescu, S. Halunga, and C. Zamfirescu. Unmanned vehicles' placement optimisation for Internet of Things and Internet of Unmanned Vehicles. *Sensors*, 21(21), 2021. (ISI, Q2).
- [J4] R. Nelega, D.I. Greu, E. Jecan, V. Rednic, C. Zamfirescu, and E. Pușchiță. Prediction of Power Generation of a Photovoltaic Power Plant Based on Neural Networks. *IEEE Access*, vol. 11, pp. 20713-20724, 2023. (ISI, Q2).
- [J5] F. Turcu, A. Lazar, V. Rednic, G. Roșca, C. Zamfirescu, and E. Pușchiță. Prediction of Electric Power Production and Consumption for the CETATEA Building Using Neural Networks. *Sensors*, 22(16), 2022. (ISI, Q2).

Articole de conferință

- [C1] **C. Zamfirescu**, A. Vulpe, S. Halunga, and O. Fratu. Spatial multiplexing MIMO 5G-SDR open testbed implementation. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, 2019, vol. 283. (ISI).
- [C2] **C. Zamfirescu**, B. Burchilă, and O. Brădeanu. Enhanced carrier aggregation to support 5G use cases. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2018. (ISI).
- [C3] A.-M. Drăgulinescu, A. Drăgulinescu, **C. Zamfirescu**, S. Halunga, and G. Suciú Jr. Smart Neighbourhood: LoRa-based environmental monitoring and emergency management collaborative IoT platform. In *2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, pages 1–6, 2019. (ISI).
- [C4] C. Mărculescu, A.-M.C Drăgulinescu, A. Machedon, I. Marcu, and **C. Zamfirescu**. LoRa and Bluetooth-based IoT alarm clock device for hearing-impaired people. In *2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pages 140–143, 2020. (ISI).
- [C5] A.-M. Drăgulinescu, I. Marcu, and **C. Zamfirescu**. An End-to-End LoRaWAN-based IoT Platform with Built-in Network Coverage Testing Capability. In *2022 25th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, Herning, Denmark, 2022, pp. 474-479. (ISI).
- [C6] A.-M. Drăgulinescu, **C. Zamfirescu**, and B. Ionescu. Salv AIoT Platform for Mountain Accidents Prevention and Search and Rescue Missions. In *2024 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, IEEE, pp. 1475–1480, Jun. 09, 2024. doi: 10.1109/iccworkshops59551.2024.10615751.
- [C7] E.G. Stănescu, T. C. Stoian, D. I. Năstac and **C. Zamfirescu**, Intelligent System for Integration in 5G Networks, IEEE 30th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packages (SIITME), Sibiu, Romania, 16-19 Oct. 2024 (abstract accepted, paper under review).
- [C8] **C. Zamfirescu**, A. Drăgulinescu, S. Leonte, B. Ionescu - The impact of 5G and AI in mountain rescue critical missions - to be submitted for review.
- [C9] **C. Zamfirescu**, D. Burmaz, R. Iugulescu, B. Ionescu - The future of Open RAN networks - Building a “5G in a Box” network - to be submitted for review.

6.4 Lista conferințelor și prelegerilor

IEDO CONF (IEDO – International Emergency Drone Organization - Paris, France) is the world emergency robotic IEDO conference.

Pioneering Open 5G-enabled applications for social impact and Tech for Good: From radio communications optimization to life-saving innovations

Cu sprijinul Vodafone România, am participat la zeci de conferințe, prelegeri, intervenții în societate pe teme legate de tehnologiile viitorului, subiecte conexe cu activitatea mea de cercetare și activitatea profesională.

Aceasta este o selecție din diverse domenii cu care interacționez public. Publicul principal este societatea românească, care beneficiază de cele mai multe dintre proiectele prezentate.

- [L1] New TechForGood premieres with Vodafone and Salvamont Romania. *Business Review*. <https://business-review.eu/tech/telecom/new-techforgood-premieres-with-vodafone-and-salvamont-romania-249013>.
- [L2] Drones and AI for mountain rescue missions in Romania. *Vodafone News*. <https://www.vodafone.com/news/technology/drones-ai-mountain-rescue-missions-romania>.
- [L3] Ciprian Zamfirescu – Evoluția este învățare. *Business Magazin – Top 100 Young Leaders*. <https://www.businessmagazin.ro/business-hi-tech/ciprian-zamfirescu-evolutia-este-invatare-21334687>.
- [L4] 3 mituri despre digitalizare demontate de Ciprian Zamfirescu, Managerul Inovației de la Vodafone. *IQ Digital*. <https://iqdigital.ro/2023/07/18/video-3-mituri-despre-digitalizare-demontate-de-ciprian-zamfirescu-managerul-inovatiei-de-la-vodafone/>.
- [L5] Andi Moiescu Podcast 1. <https://www.youtube.com/watch?v=uaVhDs27Lps>.
- [L6] Andi Moiescu Podcast 2. <https://www.youtube.com/watch?v=9kZP5jvs-KY>.
- [L7] Romania 3.0 Event. *Antena3 CNN*. <https://platforma4.mediatrust.ro/browser/tv/TXOJWR/z/t>.
- [L8] International Mountain Rescue Race. Accessed at <https://www.youtube.com/watch?v=YK6NoOiGa5o>.
- [L9] Ciprian Zamfirescu – IlikeIT. *ProTV*. <https://platforma4.mediatrust.ro/browser/tv/8QJLBL/z/t>.
- [L10] Ciprian Zamfirescu: PNRR ar putea sa transforme statul roman intr-un purtator de inovatie. *Financial Intelligence*. <https://financiantelligence.ro/ciprian-zamfirescu-pnrr-ar-putea-sa-transforme-statul-roman-intr-un-purtator-de-inovatie-video/>.
- [L11] Ciprian Zamfirescu: Digital Transformation Manager, Vodafone Romania. *Ziarul Financiar*. <https://m.zf.ro/business-hi-tech/ciprian-zamfirescu-digital-transformation-manager-vodafone-romania-21191828>.
- [L12] Primul Centru de Excelenta. *BITV*. <https://platforma4.mediatrust.ro/browser/tv/LXN1Y1/z/t>.
- [L13] Ciprian Zamfirescu on YouTube. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=vZkVDW2SOGw&t=61s>.

- [L14] Financial Intelligence Conference - Forumul Romania Digitala 2022. *Financial Intelligence*. <https://www.financialintelligence.ro/forumul-romania-digitala-2022>.
- [L15] IQ Digital Cluj-Napoca Conference – The demystification of digitalization 2023. *IQ Digital*. <https://www.iqdigital.ro/cluj-napoca-conference-2023>.
- [L16] Conferinta Tigers of Romania – Start-up.ro – The impact of drones in 8 industries 2024. *Start-up.ro*. <https://www.start-up.ro/tigers-of-romania-2024>.
- [L17] Podcast fapte bune – Fundatia Vodafone – Tech for Good - 2023. *Fundatia Vodafone*. <https://www.vodafone.com/fundatia-vodafone/podcast-tech-for-good-2023>.
- [L18] CISA IKAR Conference in Montreux – Drones in Romanian mountain rescue – 2022. *CISA IKAR*. <https://www.cisa-ikar.org/conference-montreux-2022>.
- [L19] Mara Emergency Med Conference – The impact of drones in first response 2023. *Mara Emergency*. <https://www.maraemergency.ro/conference-2023>.
- [L20] Techsylvania Conference – Technology behind Telecommunications. The journey from Telco to TechCo. 2022. *Techsylvania*. <https://www.techsylvania.com/conference-2022>.
- [L21] Podcast Andi Moiescu – Revolution in Education 2023. *Andi Moiescu Podcast*. <https://www.andimoiescu.com/podcast-revolution-education-2023>.
- [L22] Simple with Technology – Professional drones for rescue missions 2023. *Simple with Technology*. <https://www.simpletech.ro/professional-drones-rescue-missions-2023>.
- [L23] ZF High-Tech Innovation Summit – The potential of innovation in Romania 2022. *ZF High-Tech*. <https://www.zfhightech.ro/innovation-summit-2022>.
- [L24] Republica Magazin – The technology that saves lives – 2023. *Republica Magazin*. <https://www.republicamagazin.ro/technology-saves-lives-2023>.
- [L25] RO 3.0 Plans and perspectives for Romania. *RO 3.0*. <https://www.ro3.0.ro/plans-perspectives-2023>.
- [L26] ilikeIT PROTV – The drones technologies in mountain and water rescue. *PROTV ilikeIT*. <https://www.protv.ro/ilikeit/drones-technologies-rescue-2023>.

6.5 Lista proiectelor naționale

- [Pn1] Research Assistant, *Smart viticulture based on IoT techniques – a premise for managing climate change*, ADER 6.3.13 (ID: 320235340), Competition within the Sectoral Plan for Research and Development in the field of Agriculture and Rural Development of the Ministry of Agriculture and Rural Development, for the

Pioneering Open 5G-enabled applications for social impact and Tech for Good: From radio communications optimization to life-saving innovations

years 2023-2026, Agriculture and Rural Development - ADER 2026. Principal Investigator: Dr. Ana-Maria Drăgulescu, 2023-2026.

[Pn2] Research assistant, PN3 type 'Solutions' no. 5Sol/2017, *ToR-SIM Project: Integrated software platform for malware analysis of mobile terminals*, Project Director Prof. Octavian FRATU, 2017-2019.

6.6 Lista proiectelor internaționale

[Pi1] Research Assistant, EEA Norway Grants, *SOLID-5G Project: IoT Platform based on Massive MIMO with Network Slicing for IoV/V2X and Maritime Services in Beyond 5G Networks*, Project Manager at UPB: Assoc. Prof. Marius VOCHIN, 2021-2023.

[Pi2] Project Manager (Partner: Vodafone Romania), Connecting Europe Facility - Digital, *5G-ENRICH Project: 5G-Edge Network for Reinventing Innovation in Community and Higher-Education* (current status: Grant Agreement Preparation - GAP).

6.7 Impactul rezultatelor

6.7.1 Impactul științific

Contribuțiile realizate au avansat semnificativ înțelegerea și aplicarea tehnologiilor moderne de comunicații radio, în special în contexte educaționale și experimentale. Prin propunerea unei abordări inovatoare care conectează fundamentele teoretice cu bancurile de testare practice, am facilitat o înțelegere mai profundă pentru studenți, viitori ingineri și experți. Înființarea primului banc de testare de radio software-definit la Universitatea Politehnica, care prezintă sisteme radio MIMO cu multiplexare spațială, a fost esențială pentru a anticipa dezvoltările rețelelor comerciale. În plus, proiectarea și implementarea Orchestratorului de Network Slicing 5G a demonstrat evoluția practică a tehnologiei 5G, subliniind impactul acesteia asupra cazurilor de utilizare de generație următoare, care necesită latență ultra-redușă, debit ridicat și un nivel înalt de fiabilitate. Aceste contribuții au pus bazele cercetării și dezvoltării continue în domeniul comunicațiilor radio.

6.7.2 Impactul în inovație

Eforturile inovatoare prezentate nu doar că au împins limitele tehnologiilor existente, dar au introdus și concepte și implementări noi. Sistemul „5G in a Box”, de exemplu, a oferit o demonstrație tangibilă a potențialului viitor al rețelelor Open 5G. Proiectarea și execuția primului prototip funcțional al unui sistem de acoperire radio mobilă bazat

pe drone, capabil să sprijine misiuni de salvare în zone montane izolate, exemplifică intersecția dintre inovație și aplicarea practică. În plus, propunerea și realizarea Hub-ului de Inovare Vodafone la POLITEHNICA București au creat un centru multidisciplinar de excelență, promovând inovația în educație, cercetare și dezvoltare tehnologică. Aceste inițiative evidențiază un angajament puternic în direcția împingerii frontierelor tehnologice și creării de noi paradigme în domeniu.

6.7.3 Impactul social

Implicațiile sociale ale lucrării mele sunt de amploare, în special în îmbunătățirea siguranței publice și sprijinirea misiunilor critice de salvare. Dezvoltarea sistemului „The Flying Cell”, care oferă acoperire radio mobilă în zone izolate, a fost esențială în sprijinirea misiunilor de căutare și salvare, contribuind astfel direct la salvarea de vieți omenești. Integrarea stațiilor de bază 4G/5G printr-o rețea de comunicații prin satelit LEO și utilizarea propusă a turnurilor celulelor drone pentru siguranța publică urbană și scenariile de recuperare în caz de dezastre subliniază și mai mult beneficiile sociale ale acestor tehnologii. Contribuțiile mele s-au extins și la comunitatea largă, dovadă fiind colaborarea cu Salvamont România și Vodafone România pentru a extinde aceste tehnologii salvatoare de vieți în mai multe județe. Recent, două vieți au fost salvate în România de echipele Salvamont, în județul Vâlcea, folosind puterea tehnologiei dronelor.

6.7.4 Impactul în mediu

Impactul asupra mediului al acestor contribuții este evident în dezvoltarea și implementarea tehnologiilor menite să îmbunătățească sustenabilitatea și să reducă amprenta asupra mediului. Inspecția inovatoare a infrastructurii panourilor fotovoltaice, folosind drone echipate cu camere cu vedere termică, în colaborare cu INCDTIM Cluj Napoca, demonstrează utilitatea acestor tehnologii în mentenanța preventivă, contribuind în final la longevitatea și eficiența activelor de energie regenerabilă. În plus, proiectarea și testarea sistemelor de drone adaptate pentru aplicații 5G critice pentru misiuni, inclusiv utilizarea lor ca scanere de calitate a rețelei pentru viitoarele autostrăzi pentru drone, se aliniază cu eforturile de reducere a impactului asupra mediului prin tehnologii mai eficiente și mai sustenabile. În plus, soluția de căutare și salvare bazată pe drone reduce considerabil amprenta de carbon asociată cu vehiculele de patrulare la sol.

6.7.5 Impactul economic

Din punct de vedere economic, contribuțiile au poziționat tehnologiile dezvoltate ca factori esențiali pentru viitoarele aplicații industriale și comerciale. Propunerea și execuția unei platforme software pentru următoarea generație de drone, care acoperă opt industrii, subliniază potențialul economic al acestor inovații. Crearea Hub-ului

Pioneering Open 5G-enabled applications for social impact and Tech for Good: From radio communications optimization to life-saving innovations

de Inovare Vodafone a stabilit o resursă semnificativă pentru educație și cercetare, promovând dezvoltarea de tehnologii care vor stimula creșterea economică. În plus, evaluarea practică și testarea sistemului „5G in a Box” și aplicațiile sale în scenarii precum bulele tactice 5G pentru misiuni critice au potențialul de a influența diverse industrii, oferind soluții scalabile, eficiente și rentabile pentru aplicații personalizate în era 5G.

6.8 Perspective pentru dezvoltări ulterioare

Am ales acest domeniu de analiză și cercetare pentru programul meu doctoral deoarece ritmul dezvoltării noilor tehnologii nu mai este unul liniar, trendul foarte dinamic are o curbă exponențială, iar România, cu implicarea unor profesioniști pasionați, trebuie să țină pasul. Tehnologiile emergente devin din ce în ce mai importante pentru direcțiile viitoare. În același timp, activitatea mea profesională se desfășoară în acest domeniu al comunicațiilor mobile, și este foarte important ca arhitecturile de rețea proiectate să fie strâns legate de aprofundarea aspectelor teoretice.

Bibliografie

- [1] Lopa Jilpesh Vora. Evolution of Mobile Generation Technology: 1G to 5G and Review of Upcoming Wireless Technology 5G. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, 2, 2015.
- [2] Lin Zhang, Ying-Chang Liang, and Dusit Niyato. 6G Visions: Mobile ultra-broadband, super Internet-of-Things, and Artificial Intelligence. *China Communications*, 16(8):1–14, August 2019.
- [3] Shunqing Zhang, Chenlu Xiang, and Shugong Xu. 6G: Connecting Everything by 1000 Times Price Reduction. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 1:107–115, 2020.
- [4] Gordana Barb and Marius Ottesteanu. 4G/5G: A Comparative Study and Overview on What to Expect from 5G. In *2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*. IEEE, July 2020.
- [5] 5G PPP Architecture Working Group. View on 5G Architecture, July 2016.
- [6] 5G SONATA Project Consortium. 5G SONATA Project. <http://www.sonata-nfv.eu/>, 2017. [Accessed January 2017].
- [7] F. Darbari, R.W. Stewart, and I.A. Glover. *MIMO Channel Modelling*. University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom, 2010.
- [8] **Ciprian Zamfirescu**, Alexandru Vulpe, Simona Halunga, and Octavian Fratu. Spatial multiplexing MIMO 5G-SDR open testbed implementation. In *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, volume 283, pages 263–271. Springer, 2019.
- [9] S. Linder, G. Eriksson, and K. Wiklundh. Evaluation of transmit diversity and spatial multiplexing for MIMO systems in an urban peer-to-peer scenario. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2010. Submitted.
- [10] GNU Radio. *GNU Radio Documentation*, 2019. Available: <https://www.gnuradio.org/docs/>, Accessed: 10 Jan 2019.
- [11] Andreas Roessler, Michael Kottkamp, and Stefan Merkel. Carrier Aggregation - (One) Key Enabler for LTE-Advanced, 2012. PD 3606.7630.62, v01.01.
- [12] Johan Wannstrom. Carrier Aggregation explained, 2013. for 3GPP.
- [13] **Ciprian Zamfirescu**, B. Burchilă, and O. Brădeanu. Enhanced carrier aggregation to support 5G use cases. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. SPIE, 2018.
- [14] ETSI. LTE; E-UTRA; UE radio transmission and reception. Technical Report TS 136 101 Release 13, ETSI, 2016.

- [15] ETSI. LTE - Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. Technical Report TS 136.211 Release 12, ETSI, 2015.
- [16] Prabhjot Rekhi, Manpreet Luthra, Sandeep Malik, and Rajeev Atri. Throughput Calculation for LTE TDD and FDD Systems, 2012. ResearchGate.
- [17] Patteti Krishna, Tipparti Anil Kumar, and Kalithkar Kishan Rao. Throughput evaluation of downlink multiuser-mimo ofdm-lte system. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 08(04):58–61, 2015.
- [18] **Ciprian Zamfirescu**, Radu Iugulescu, Răzvan Crăciunescu, Alexandru Vulpe, Frank Y. Li, and Simona Halunga. Network slice allocation for 5G V2X networks: A case study from framework to implementation and performance assessment. *Vehicular Communications*, 45:100691, February 2024.
- [19] Mostafa Zaman Chowdhury, Md. Shahjalal, Shakil Ahmed, and Yeong Min Jang. 6G Wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges, and Research Directions. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1:957–975, 2020.
- [20] Bogdan P. Onac Gheorghe M. L. Ponta, editor. *Cave and Karst Systems of Romania*. Springer International Publishing, 2019.
- [21] Salvamont Romania. Raport de activitate 2022. <https://www.salvamontromania.ro/upload/raport-activitate-2022.pdf>, 2022. Accessed: 2024-06-24.
- [22] NATCOV Romania. NATCOV Romania - Information Page. <https://www.natcov.ro/index.php?pid=750&newlang=romana>, 2024. Accessed: 2024-06-24.
- [23] MYX Robotics. MYX Robotics: Unlock the Value of Your Tower Assets, 2024. Accessed: 2024-06-27.
- [24] Romulus Valeriu Flaviu Turcu, Andrei Lazar, Vlad Rednic, Gabriel Rosca, Ciprian Zamfirescu, and Emanuel Puschita. Prediction of Electric Power Production and Consumption for the CETATEA Building Using Neural Networks. *Sensors*, 22:6259, 2022. (Q2).