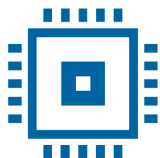


De la Radio Cognitiv la Calitatea Experienței: Reconfigurabilitate și Convergență în Telecomunicații

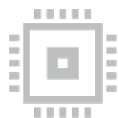
- teză de abilitare -

Conf. dr. ing. Vlad Popescu



Universitatea
Transilvania
din Brașov

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ
ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR



Cap.1. De la Cognitive Radio la Software-Defined-Radio prin TV White Spaces şi liberalizarea spectrului

Cap. 2. De la SDR la IoT şi până la aplicaţii Smart Home şi HbbTV

Cap. 3. De la Smart Home la Smart Cities prin tehnologiile 5G/6G

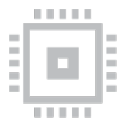
Cap. 4. De la 5G/6G la Realitate Extinsă Hibridă

Traietorie ştiinţifică porneşte de la fundamentele teoretice ale Radioului Cognitiv şi provocările practice de gestiune a spectrului radio, evoluează prin platforme Software-Defined Radio, ecosisteme Internet of Things, aplicaţii Smart Home şi HbbTV, comunicaţii Smart Cities şi 6G şi ajunge în prezent aplicaţii de tip Extended Reality (XR) şi mediile imersive multisenzoriale .

Reconfigurabilitate

de la agilitatea spectrală la nivel hardware în SDR, prin adaptabilitatea la nivel de protocol în gateway-urile IoT, la programabilitatea la nivel de reţea în arhitecturile 5G/6G, şi în final, la personalizarea la nivel de experienţă în sistemele XR multisenzoriale.

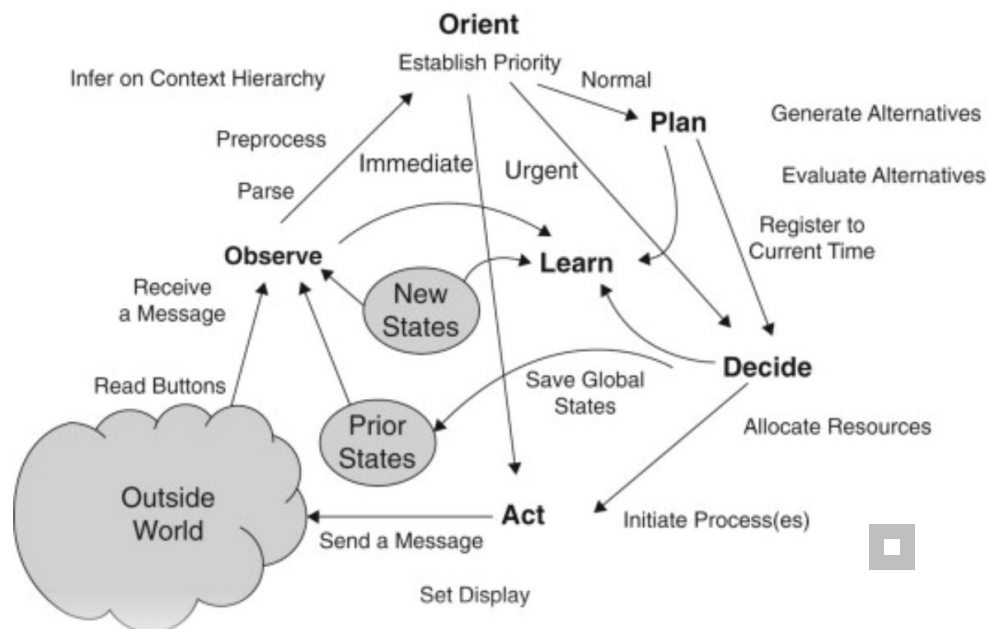




Capitolul 1

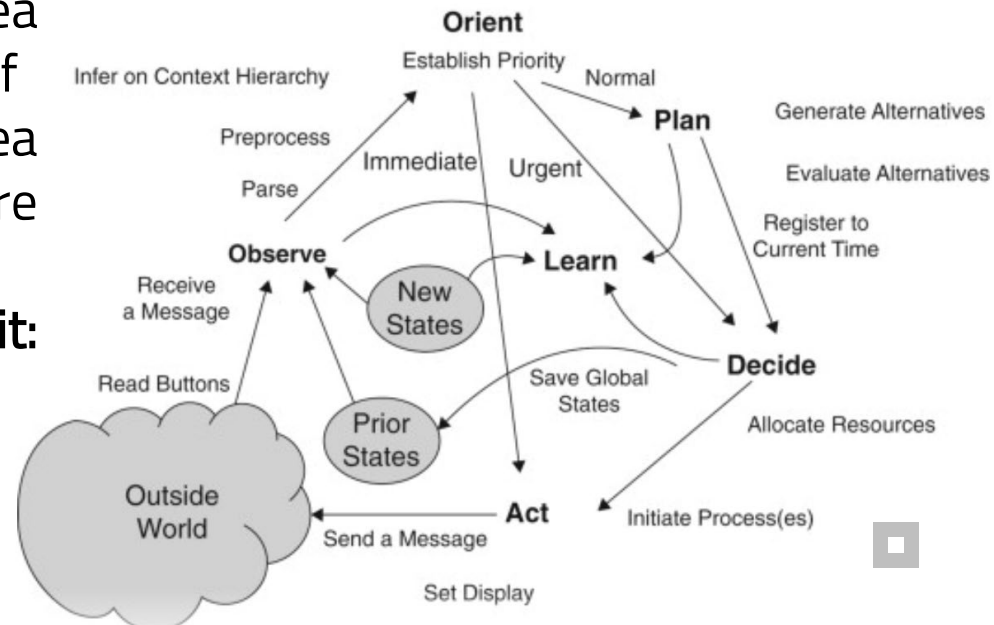
De la Cognitive Radio la Software-Defined-Radio prin TV White Spaces şi Liberalizarea Spectrului

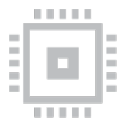
- Primul capitol al tezei se concentrează pe problema fundamentală a eficienţei spectrale în comunicaţiile wireless, abordată prin paradigma Radioului Cognitiv (CR) şi a implementărilor practice pe platforme Software-Defined Radio (SDR).
- Ineficienţă cronică în utilizarea spectrului de frecvenţe: între 15% şi 85% din spectrul alocat rămânea neutilizat în orice moment dat, justificând necesitatea **accesului dinamic şi oportunist la spectru**.
- **CR – Cognitive Radio**
 - viziune transformatoare pentru comunicaţiile wireless, ce propunea o gestiune descentralizată şi adaptivă a resurselor radio
 - introdus de J. Mitola III la începutul anilor 2000
 - capacitatea radioului de a detecta mediul operaţional



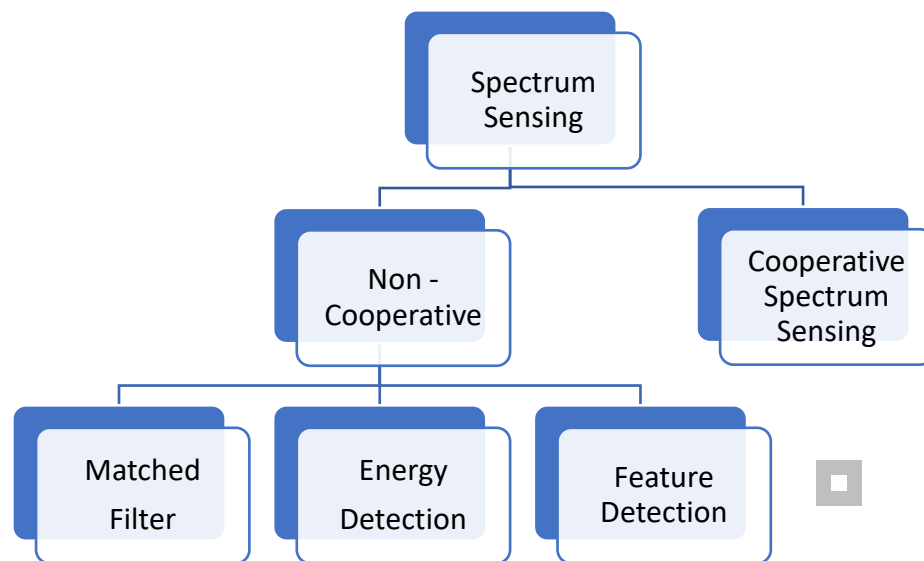


- DSA – Dynamic Spectrum Access
- PU – Primary Users vs. SU – Secondary Users
- White Spaces exploatare de SU care se asigură că nu interferează cu PU
- Funcţionalităţi principale CR
 - **detectia spectrului** - Spectrum Sensing: monitorizare continuă a mediul radio pentru a detecta prezenţa PU.
 - **gestiunea spectrului**: evaluarea oportunităţii utilizării unei anumite frecvenţe
 - **mobilitatea spectrului**: eliberarea dinamică a resursei radio, handoff
 - **spectrum sharing**: evitarea influenţei reciproce între utilizatorii secundari
 - **sensing cooperativ vs distribuit**: Hidden Node Margin



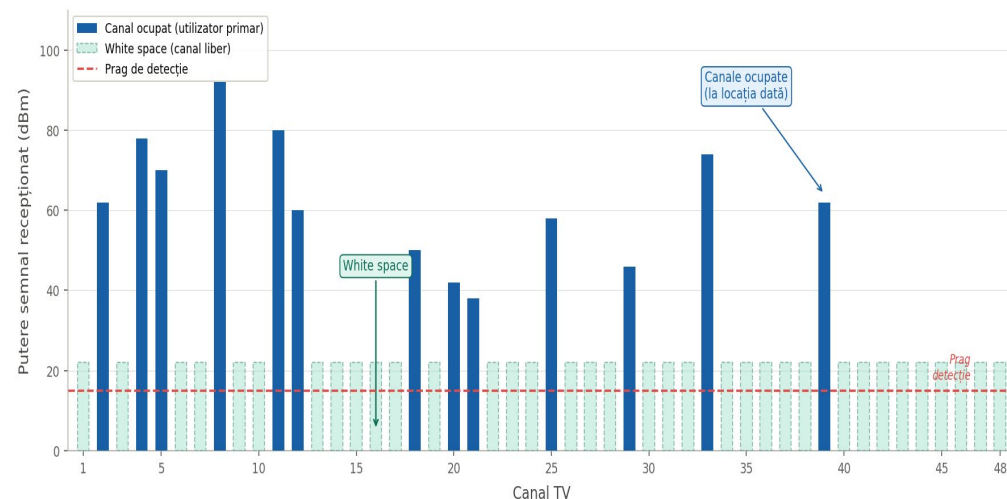


- **Spectrum Sensing:** statutul de ocupare spectrală la un moment/locăţie dată, determinarea dacă o bandă de frecvenţă specifică este folosită de către un PU şi, dacă nu, dacă banda poate fi exploatată în mod oportunist de către un SU.
- **sensibilitate ridicată:** pentru detectarea semnalelor PU slabe, în special în medii îndepărtate sau obstrucţionate;
- **rată scăzută de detecţii false:** pentru a evita subutilizarea spectrului disponibil din cauza sensing-ului excesiv de conservator;
- **performanţă în timp real:** acces dinamic la spectru cu întârziere minimă;
- **robusteţe:** situaţii cu mult zgomot radio, shadowing şi fading;
- **scalabilitate:** operare pe benzi largi de frecvenţă, în special în scenarii de tip wideband sau multiband.



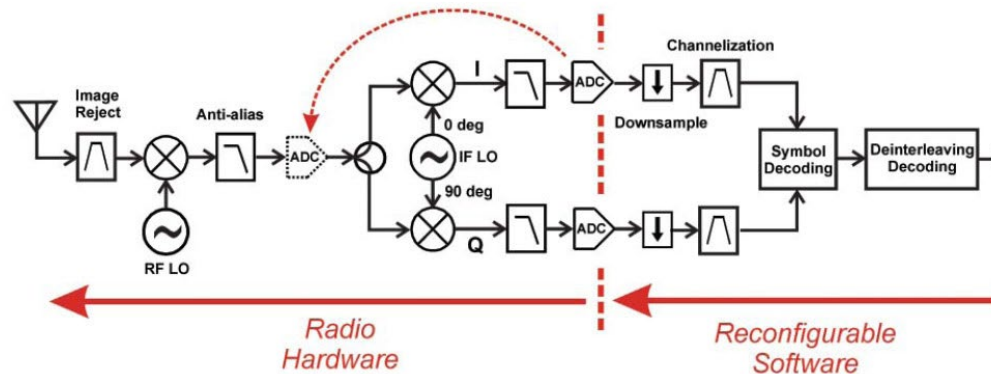


- **TV White Spaces (TVWS):** tranziţia de la televiziunea terestră analogică la digitală a dus la apariţia de oportunităţi pentru sistemele cognitive din cauza eficienţei spectrale superioare a sistemelor DVB => eliberarea unui număr considerabil de canale neutilizate în benzile FIF şi UIF
- **TVWS** sunt definite ca spaţii spectrale libere geografico-temporal în cadrul benzilor de difuziune TV. Apar din mai multe cauze:
 - planificarea geografică a utilizărilor frecvenţelor
 - benzile de gardă rezervate între canalele adiacente
 - implementarea neuniformă a transmiţătoarelor
 - tranziţia în curs de la analogic la digital
- **Geo Location Databases**
 - Hidden-Node
 - pragul de detecţie
 - lista canalelor radio disponibile
 - puterea maximă de transmisie
 - restricţiile tehnice aplicabile





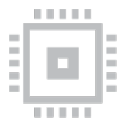
- **Software Defined Radio (SDR):** sistem radio în care componentele implementate tradiţional în hardware sunt implementate prin software executat pe arhitecturi de procesare (GPP, DSP, FPGA, SoC)



- **Caracteristici:**

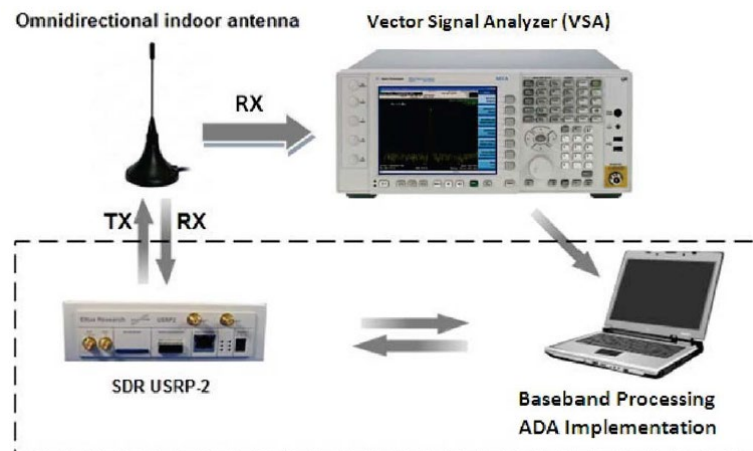
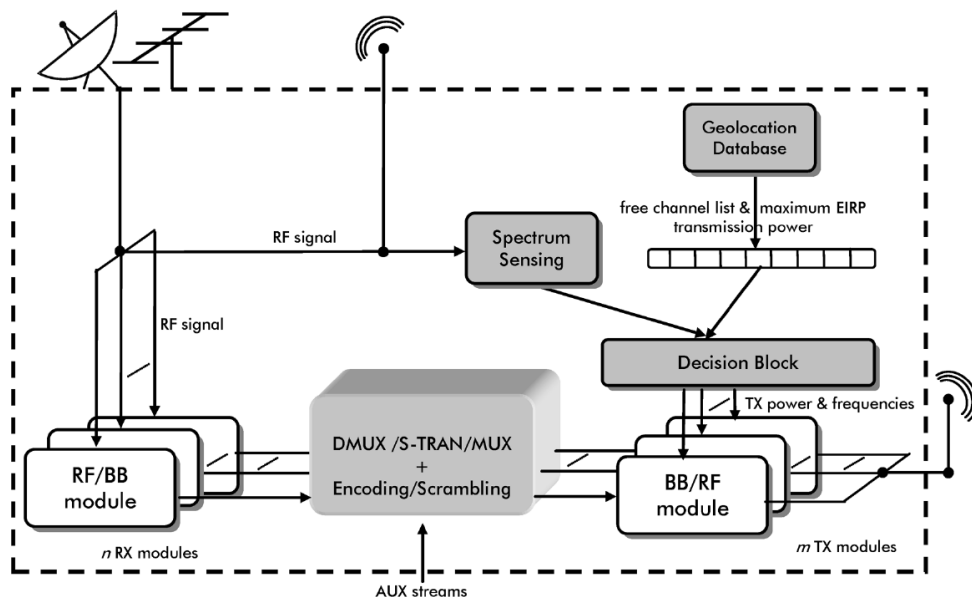
- **Reconfigurabilitate:** schemele de modulare, benzi de frecvenţă şi parametri de transmisie în timp real fără alterarea fizică.
- **Operare Multi-Standard:** Un singur dispozitiv poate opera sub mai multe standarde facilitând coexistenţa şi interoperabilitatea.
- **Prototipare rapidă şi cost scăzut:** Resursele hardware partajate reduc costurile de implementare şi upgrade în timp, în special pentru echipamentele de infrastructură.

- Numeroase platforme open-source şi comerciale au apărut pentru a susţine dezvoltarea SDR:
 - USRP (Ettus Research): Cea mai adoptată platformă SDR în mediul academic şi industrial. Gamă largă de plăci RF şi susţine GNU Radio.
 - HackRF One şi RTL-SDR: Dispozitive low-cost
 - NI LabVIEW cu platforme PXI/USRP: oferă o interfaţă de programare grafică şi procesare de mare viteză pentru aplicaţii în timp real.
 - BladeRF, LimeSDR şi PlutoSDR: platforme de nivel mediu cu un raport optim între performanţa şi preţ.
 - Software: GNU Radio, MATLAB/Simulink, LabVIEW şi SDR Angel oferă medii de programare pentru a defini forme de undă şi logica de procesare.
- Aceste platforme susţin o varietate de cazuri de utilizare pentru dezvoltare, de la protocoale IoT cu bandă îngustă şi până la analizatoare spectrale de bandă largă.



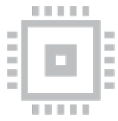
■ Contribuţii personale - Domeniile CR - SDR – TVWS

- Spectrum Sensing bazat pe aplicaţii Wavelet
- studii teoretice despre folosirea TVWS pentru distribuţia de semnale audio/video şi utilizarea GL-DB pentru exploatarea dinamică a TVWS
- aplicaţii practice pentru utilizarea TVWS pentru a redirecţiona mai multe MUX-uri de canale TV digitale, provenind din transmisii terestre sau prin satelit, către un set de utilizatori într-un mediu indoor.

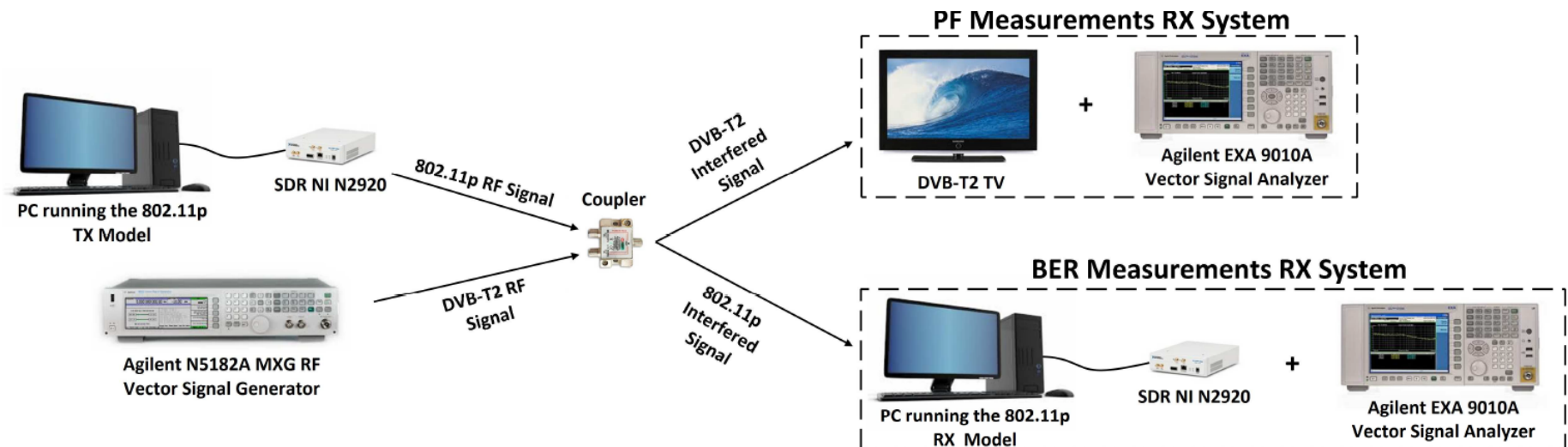


■ Contribuţii personale - Domeniile CR - SDR – TVWS

- Stoianovici, V., Popescu, V., Murroni, M. – Survey On Spectrum Sensing Techniques For Cognitive Radio. In "Bulletin Of The Transilvania University Of Brasov, VOL.1 (50)-2008
- Murroni, M., Popescu, V. "Spectrum Sensing For Dynamic Spectrum Access Networks In The 700-MHz UHF TV Band Using Wavelets" IEEE Broadband Multimedia Symposium, 13 - 15 May, Bilbao, Spain, May 2008.
- Murroni, M.; Popescu, V., "Cognitive Radio HDTV multi-vision system in the 700 MHz UHF TV band," Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2010 IEEE International Symposium on , vol., no., pp.1,3, 24-26 March 2010
- Mauro Fadda, Maurizio Murroni, Vlad Popescu, Vlad Cristian Stoianovici „TV White Spaces Exploitation for Signal Distribution” In: 7th International ICST Conference, MOBIMEDIA 2011, pp 65-72, Cagliari, Italy, 2011, Mauro Fadda, Maurizio Murroni, Vlad Popescu, Vlad Cristian Stoianovici „Cooperative Spectrum Sensing for Geo-Location Databases” In: 7th International ICST Conference, MOBIMEDIA 2011, pp 78-83, Cagliari, 2011
- Murroni, M., Popescu, V. "Spectrum Sensing For Dynamic Spectrum Access Networks In The 700-MHz UHF TV Band Using Wavelets" IEEE Broadband Multimedia Symposium, Bilbao, Spain, May 2008.
- Fadda, M.; Murroni, M.; Popescu, V. "An Unlicensed Indoor HDTV Multi-Vision System in the DTT Bands" **IEEE Transactions on Broadcasting**, vol.58, no.3, pp.338-346, Sept. 2012
- Fadda, M.; Murroni, M.; Popescu, V. "A cognitive radio indoor HDTV multi-vision system in the TV white spaces," **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, vol.58, no.2, pp.302-310, May 2012
- Mauro Fadda, Maurizio Murroni, Cristian Perra, Vlad Popescu, "TV white spaces exploitation for multimedia signal distribution", **Signal Processing: Image Communication**, Volume 27, Issue 8, September 2012,
- Murroni Maurizio and Popescu Vlad: „Cognitive Radio Communications for Vehicular Technology – Wavelet Applications”, In **Vehicular Technologies: Increasing Connectivity**, Publisher: InTech, 2011

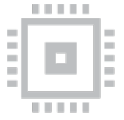


- **Contribuţii personale - interferenţe co-canal şi măsurători în benzile UHF**
 - măsurători reale pentru a demonstra fezabilitatea folosirii comunicaţiilor nelicenţiate în benzile de frecvenţă UHF, pentru comunicaţii indoor sau vehiculare.
 - evaluarea protecţiei serviciilor de broadcasting DVB-T2 perturbate de transmisiile IEEE 802.22 WRAN în regim de co-canal şi pe canalele adiacente
 - măsurători pentru reţele vehiculare ad-hoc (VANETs) folosind semnale conforme cu standardul IEEE 802.11p

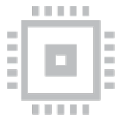


- **Contribuţii personale - interferenţe co-canal şi măsurători în benzile UHF**
- V. Popescu, M. Fadda, M. Murroni, J. Morgade, and P. Angueira, "Co-Channel and Adjacent Channel Interference and Protection Issues for DVB-T2 and IEEE 802.22 WRAN Operation," **IEEE Transaction on Broadcasting**, vol. 60, no. 4, pp. 693–700, Dec. 2014.
- Fadda M., Murroni M., POPESCU VLAD, „Interference Issues for VANET Communications in the TVWS in Urban Environments", **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, 2016
- Fadda, M.; Murroni, M.; Popescu, V.; Morgade, J.; Angueira, P., "Field Measurements for Practical Unlicensed Communication in the UHF band", **Telecommunication Systems**, Springer 2015
- M. Fadda, V. Popescu, M. Murroni, P. Angueira, and J. Morgade, "On the Feasibility of Unlicensed Communications in the TV White Space: Field Measurements in the UHF Band," **International Journal of Digital Multimedia Broadcasting**, 2015,
- Popescu, Vlad; Fadda, Mauro; Murroni, Maurizio: 'Performance analysis of IEEE 802.22 wireless regional area network in the presence of digital video broadcasting – second generation terrestrial broadcasting services', **IET Communications**, 2016



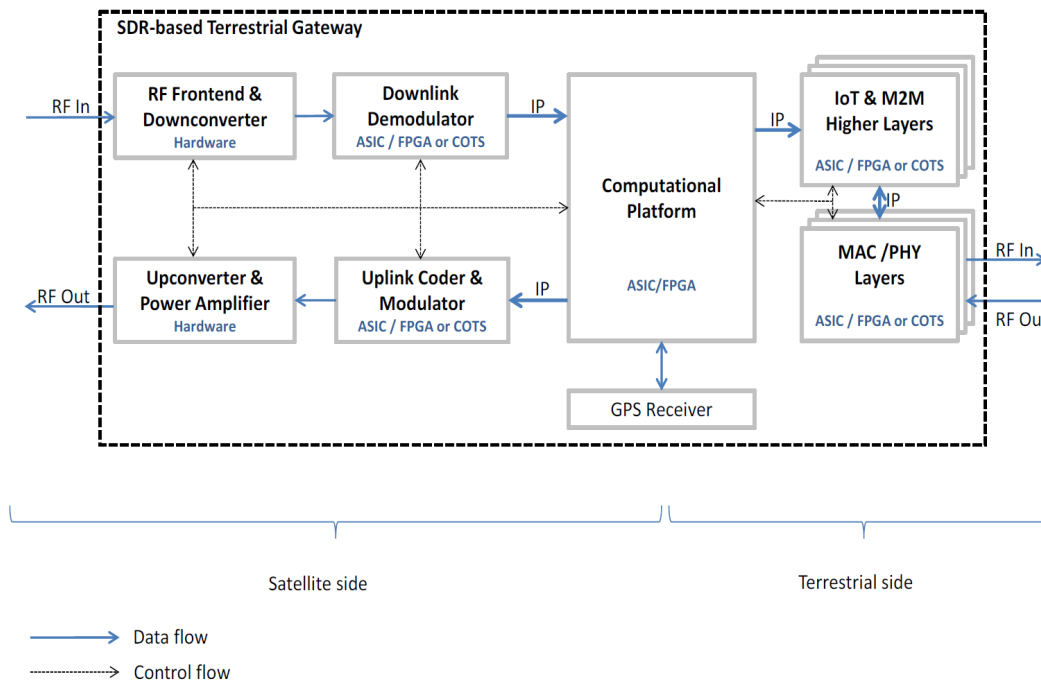


- Capitolul demonstrează cum principiul reconfigurabilităţii din CR se transferă la nivel de protocol şi serviciu în arhitecturile IoT, generând noi paradigme de conectivitate
- Capitolul explorează traiectoria de la sistemele de comunicaţii bazate pe SDR către IoT şi aplicaţiile concrete în domeniul Smart Home şi în cadrul serviciilor de distribuţie a semnalelor multimediale, audio şi video.
- Accentul este plasat pe arhitecturi, protocoale şi tehnologii care susţin această evoluţie



2.1 Reconfigurabilitate SDR pentru IoT şi comunicaţii satelitare

- IoT a impus infrastructuri de comunicaţii scalabile, eficiente energetic şi adaptabile, cerinţe pe care arhitecturile radio tradiţionale, cu funcţionalităţi fixe, nu le pot susţine, motiv pentru care folosirea platformelor SDR a apărut ca soluţie prin decuplarea funcţionalităţilor radio de hardware şi **reconfigurarea** dinamică prin software.
- Aplicaţii imediate nu numai la nivel de comunicaţii terestre dar şi satelitare

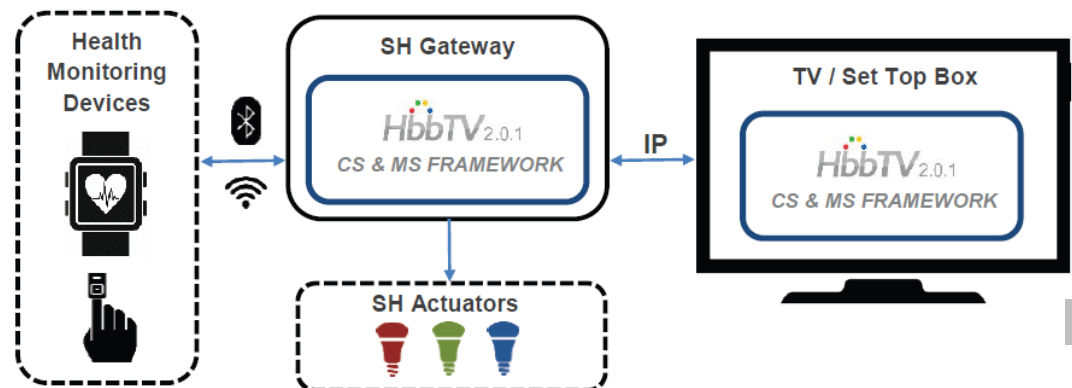




■ IoT pentru aplicaţii Smart Home

- Casa inteligentă modernă implementează paradigma IoT într-un mediu domestic, creând servicii centrate pe utilizator care îmbunătăţesc confortul, eficienţa energetică, monitorizare sănătăţii şi securitatea
- Aplicaţiile SH trei straturi fundamentale:
 - stratul de percepţie, unde senzorii adună date de mediu şi fiziologice;
 - stratul de reţea, care conectează dispozitivele prin standarde eterogene;
 - stratul aplicaţiei, unde serviciile utilizatorilor sunt orchestrate.

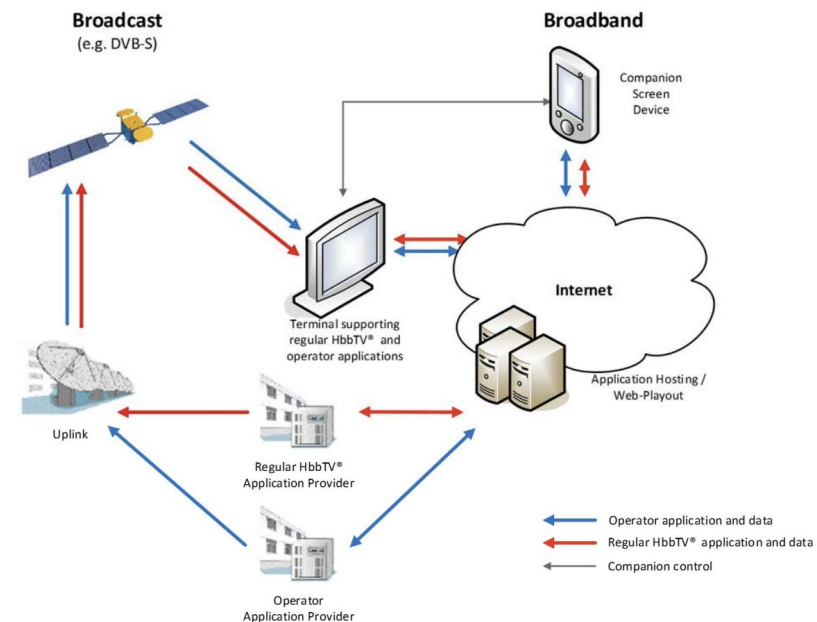
Protocoale precum ZigBee, BLE, Z-Wave, Wi-Fi, LoRaWAN şi NB-IoT coexistă, fiecare optimizat pentru aplicaţii specifice ca şi rază de acţiune, throughput şi eficienţă energetică





■ Televiziunea în bandă largă şi aplicaţii HbbTV în SH

- Tranziţia de la difuzarea analogică la cea digitală a transformat radical televiziunea de la un mediu unidirecţional într-o platformă interactivă care combină serviciile broadcast şi broadband.
- convergenţa este implementată în standardul Hybrid Broadcast Broadband TV (HbbTV), care permite combinarea conţinutului linear cu servicii interactive IP
- Integrarea lor cu sistemele IoT şi bazate pe SDR consolidează viziunea unui mediu multimedia convergent, unde conţinutul şi serviciile sunt adaptate fără întreruperi utilizatorilor în contexte domestice.



- **Televiziunea în bandă largă şi aplicaţii HbbTV în SH**
- posibilitatea difuzării de conţinut imersiv şi multisenzorial
- conţinutul broadcast este sincronizat cu dispozitivele VR-AR de tip head-mounted-displays (HMD)
- fluxurile suplimentare de date livrate broadband oferă extensii interactive şi multisenzoriale.

Producţie de conţinut

Achiziţie imagini 360°VR

Overlay AR

Codare Multisenzorială
(stimuli haptici, olfactivi,
audio spaţial)

Distribuţie de conţinut

Broadcast DVB (A/V liniar)

Servicii IP de bandă largă
(interactivitate + fluxuri multisenzoriale)

Terminal Utilizator

Terminal HbbTV / Smart TV

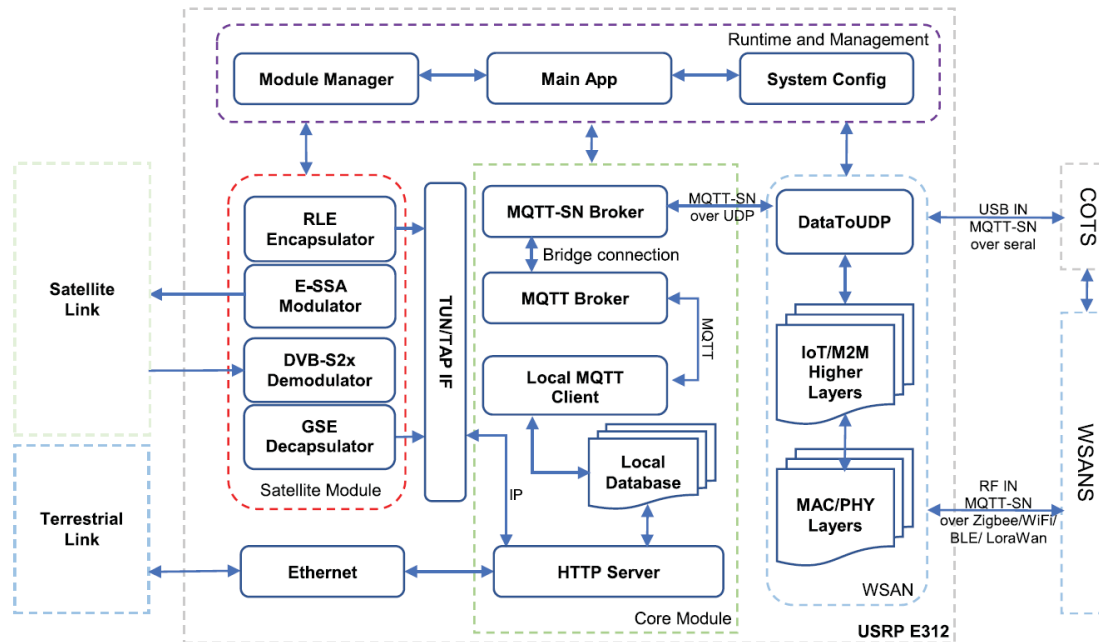
Dispozitive VR/AR

Dispozitive Haptice

Dispozitive Olfactive



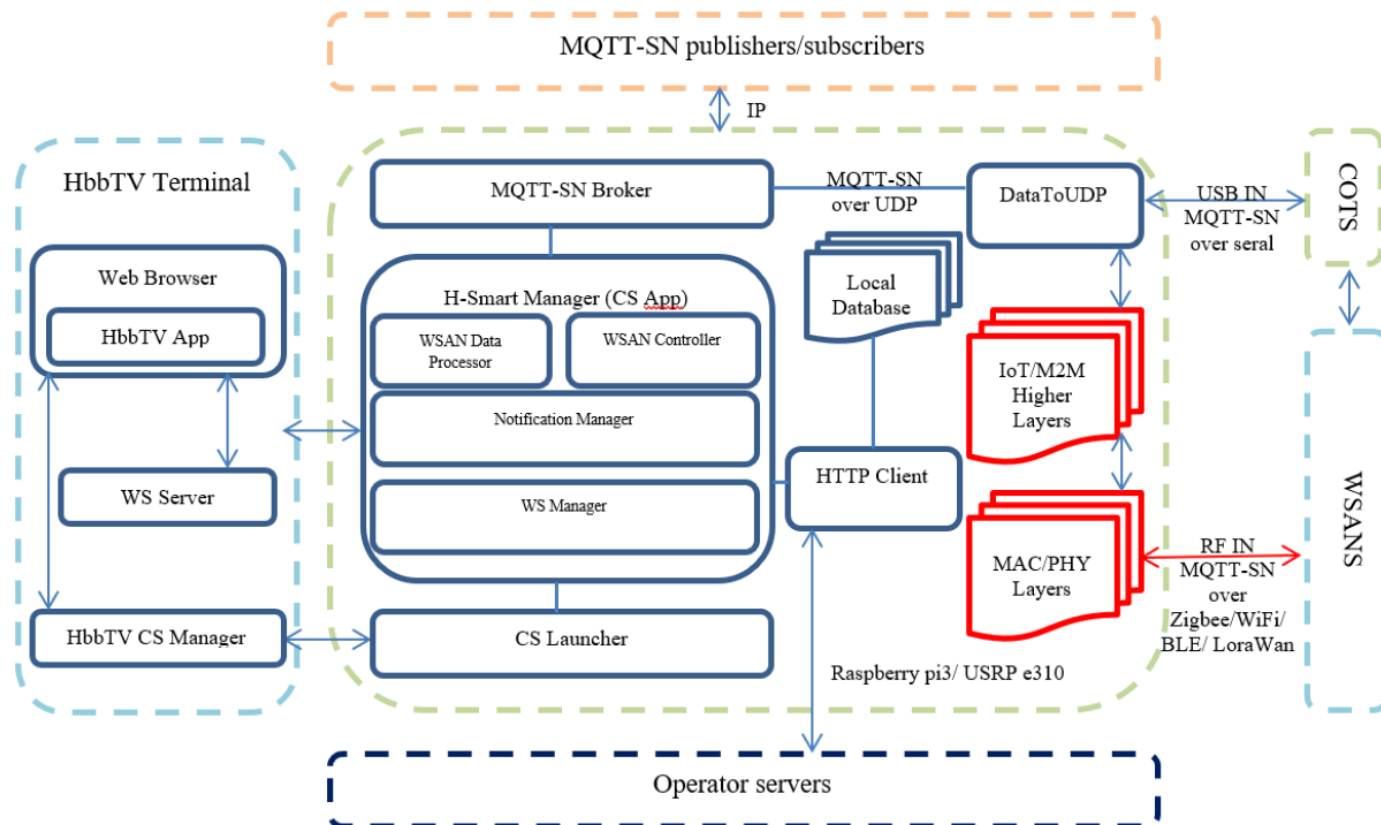
- **Contribuţii personale - Aplicaţii SDR IoT/satelit**
- gateway satelitar reconfigurabil care să permită interconectarea cu dispozitive terestre IoT şi M2M
- Proiect STARGATE-MIPS (2017 -2019) finanţat de Agenţia Spaţială Română (ROSA)

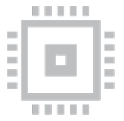


- **Contribuţii personale - Aplicaţii SDR IoT/satelit**
- gateway satelitar reconfigurabil care să permită interconectarea cu dispozitive terestre IoT şi M2M
- Proiect STARGATE-MIPS (2017 -2019) finanţat de Agenţia Spaţială Română (ROSA)
- Alexandru Marian, POPESCU VLAD, Gavrilă Cristinel, „An SDR-Based Satellite Gateway for Internet of Remote Things (IoRT) Applications", **IEEE ACCESS**, vol. 8, pp. 115423-115436, 2020.
- Roberto Puddu, Gavrilă Cristinel, POPESCU VLAD, Claudio Sacchi, Maurizio Murroni, „Self-Configurable IoT Satellite Gateway with QoS Traffic Management", 2021 IEEE AEROSPACE CONFERENCE (AEROCONF 2021), 2021.
- Gavrilă Cristinel, Alexandru Marian, POPESCU VLAD, Claudio Sacchi, Daniele Giusto, „Satellite SDR Gateway for M2M and IoT applications", 2019 IEEE AEROSPACE CONFERENCE
- Gavrilă Cristinel, Kertesz Csaba Zoltan, Alexandru Marian, POPESCU VLAD, „Reconfigurable IoT Gateway Based on a SDR Platform", 2018 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS
- Puddu R., POPESCU VLAD, Murroni M., „An open source satellite network simulator for quality based multimedia broadband traffic management", 2022 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING

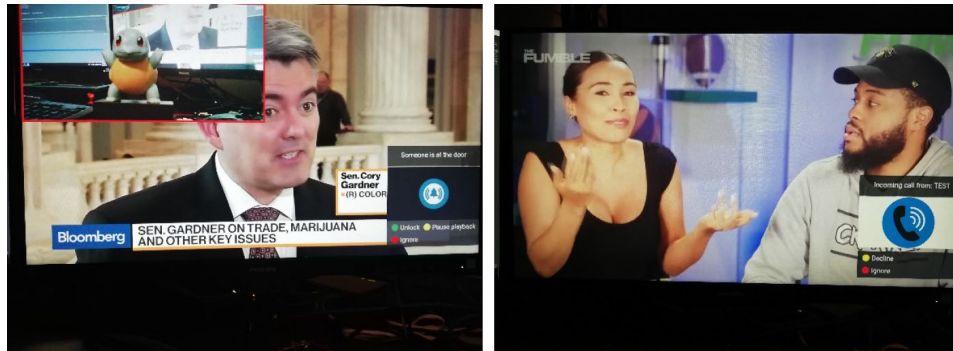


- **Contribuţii personale - Aplicaţii IoT – Smart Home - HbbTV**
- Pe baza arhitecturii implementate anterior (folosirea unui dispozitiv intermediar ca şi gateway între diferite standarde şi aplicaţii), a fost dezvoltat conceptul de unificarea a IoT - SH prin dispozitive compatibile HbbTV

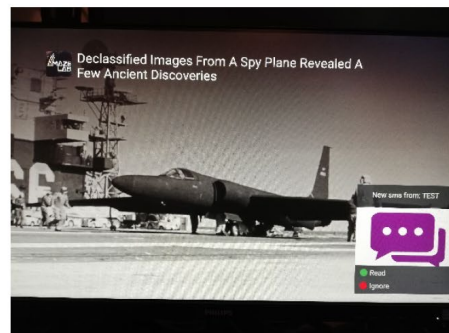




- **Contribuţii personale - Aplicaţii IoT – Smart Home - HbbTV**
- Pe baza arhitecturii implementate anterior (folosirea unui dispozitiv intermediar ca şi gateway între diferite standarde şi aplicaţii), a fost dezvoltat conceptul de unificarea a IoT - SH prin dispozitive compatibile HbbTV



(c)



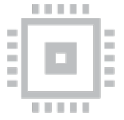
- Prototip testat atât funcţional cât şi pe partea de UI/Quality of Experience (QoE)

■ Contribuţii personale - Aplicaţii IoT – Smart Home - HbbTV

- Pe baza arhitecturii implementate anterior (folosirea unui dispozitiv intermediar ca şi gateway între diferite standarde şi aplicaţii), a fost dezvoltat conceptul de unificarea a IoT - SH prin dispozitive compatibile HbbTV
- Variaţiuni şi pentru integrarea dispozitivelor de tip HMD (Health monitoring devices)

- Gavrilă Cristinel, POPESCU VLAD, Mauro Fadda, Matteo Anedda, Maurizio Murrone, „On the Suitability of HbbTV for Unified Smart Home Experience”, **IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING**, 2021
- Gavrilă Cristinel, POPESCU VLAD, Maurizio Murrone, Mariella Sole, Daniele Giusto, „TV-Centric Health Monitoring Leveraging the HbbTV Architecture in a Smart Home Environment”, 2021 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING (BMSB)
- Porcu S., Floris A., Anedda M., POPESCU VLAD, Fadda M., Atzori L., „Quality of experience eye gaze analysis on HbbTV smart home notification system”, 2020 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING (BMSB)
- Gavrilă Cristinel, POPESCU VLAD, Alexandru Marian, M. Fadda, „Unifying the Smart Home Experience Through HbbTV-enabled Devices”, 2019 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING
- Gavrilă Cristinel, Kertesz Csaba Zoltan, POPESCU VLAD, Sandu Florin, „Bandwidth Usage Management for HbbTV Streaming Services based on User Behavior”, 2017 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING

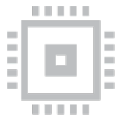




De la Smart Home la Smart Cities prin tehnologiile 5G/6G

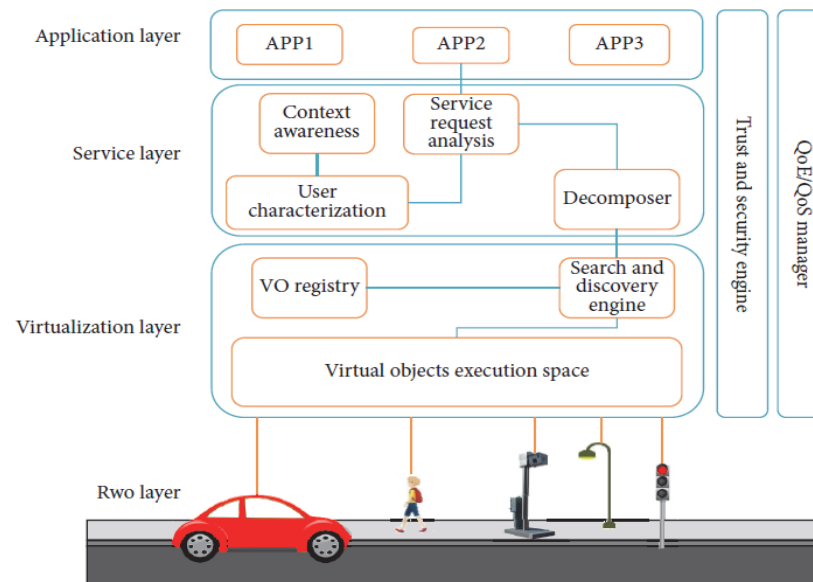
- Evoluția tehnologiilor IoT, de la mediile SH la ecosistemele orașelor inteligente (Smart City), este continuată de tranziția către Social Internet of Things (SIoT), care introduce relații de încredere, cooperare și auto-organizare între obiecte, cu accent pe scalabilitatea serviciilor în contexte urbane eterogene și dinamice.
- În paralel, trecerea de la 5G la 6G este necesară pentru a susține complexitatea acestor ecosisteme, 6G urmând să integreze inteligența artificială, edge computing și comunicația în benzile THz pentru aplicații precum mobilitatea autonomă, realitatea extinsă, teleprezența holografică și monitorizarea în timp real a mediului.





3.1. De la IoT la SloT către aplicaţii pentru Smart Cities (SC)

- IoT reprezintă o piatră de temelie a paradigmei SC pt. reţele de senzori, infrastructuri inteligente pentru transport, energie şi siguranţă publică,
- paradigma tradiţională se confruntă cu limitări de scalabilitate, interoperabilitate şi management al încrederii
- Social Internet of Things (SloT) - introduce interacţiuni structurate social între obiecte şi servicii, similare structurii relaţionale a societăţilor umane.

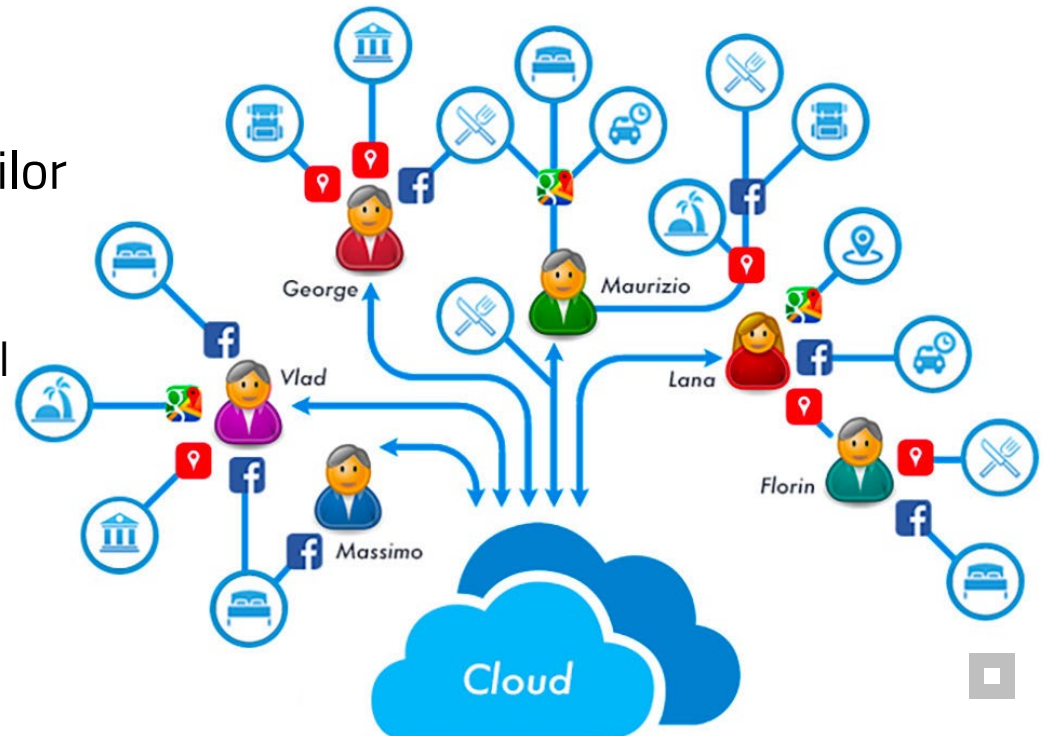


3.1. De la IoT la SloT către aplicații pentru Smart Cities (SC)

- Ideea centrală din spatele SloT este că obiectele pot stabili relații sociale - prietenii, legături de co-localizare, legături parentale (de proprietate) sau conexiuni temporare bazate pe sarcini.
- se îmbunătățește navigabilitatea și încrederea, permițând dispozitivelor să se descopere reciproc în mod eficient și să coopereze fără a necesita structuri centralizate. De exemplu, o mașină electrică inteligentă care caută o stație de încărcare poate interoga obiectele sale "prietene" în graful SloT, primind recomandări bazate pe încredere în loc să efectueze o căutare oarbă în toate nodurile disponibile
- Fiecare entitate interacționează prin intermediul cloud-ului, dar, în loc de schimb brut de date, legăturile sunt îmbogățite de semantică socială precum locația, preferințele și feedback-ul bazat pe reputație.

3.1. De la IoT la SloT către aplicații pentru Smart Cities (SC)

- SloT integrează utilizatori, servicii digitale (turism, transport, patrimoniu cultural, cazare) și platforme (Facebook, Google Maps) într-o rețea structurată social.
 - navigabilitate îmbunătățită
 - propagarea încrederii
 - compoziție dinamică a serviciilor
 - aplicații directe
 - turism și patrimoniu cultural
 - mobilitate și transport
 - sustenabilitate și mediu
 - administrație participativă
-
- The diagram illustrates a social network structure for SloT. It features several user avatars (George, Vlad, Massimo, Maurizio, Lana, Florin) connected by blue lines to various digital services and platforms. The services include icons for a museum, a bed, a car, a fork and knife, a location pin, and a person. The platforms include Facebook (f) and Google Maps (G). The network is centered around a blue globe, with arrows indicating the flow of information and services between users and the central hub.



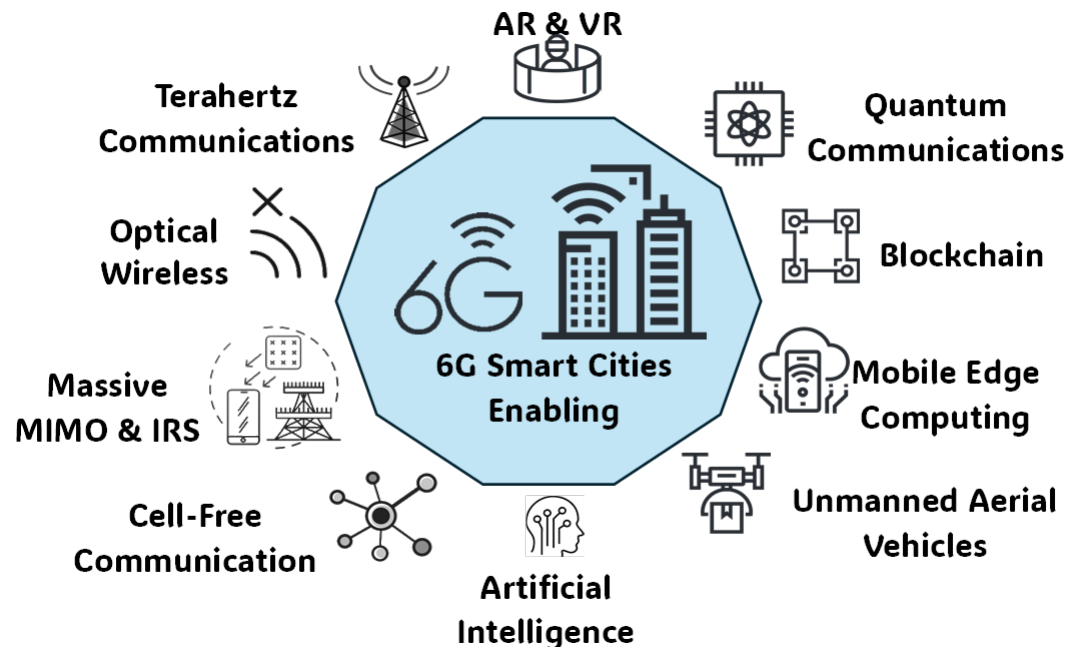
3.2. Smart Cities şi 6G

- Platformele tradiţionale IoT şi reţelele 5G, deşi puternice, sunt cvasi-insuficiente pentru a susţine complexitatea arhitecturilor de tip SC.
- Reţelele 6G vor fi componenta de bază pentru următoarea fază a dezvoltării SC, integrând inteligenţa artificială, inteligenţa de tip edge, frecvenţele din gama terahertz într-o singură structură coerentă.

Parametru	5G (IMT-2020)	6G (IMT-2030)	Relevanţă Smart Cities
Rată de date de vârf	20 Gbps	~1 Tbps	Teleprezenţă holografică, XR
Latenţă end-to-end	1–10 ms	< 0,1 ms	Conducere autonomă, chirurgie robotică
Densitate conexiuni	10^6 disp./km ²	10^7 disp./km ²	Hiper-densitate IoT urban
Fiabilitate	99,999%	99,99999%	Infrastructuri critice urbane
Eficienţă energetică	1× (referinţă)	10–100×	Green networking, oraşe neutre climatic
Spectru	< 6 GHz + mmWave	THz + mmWave + sub-6	Capacitate masivă în spaţii dense
Inteligenţă nativă	Externă (cloud AI)	Nativă (AI în reţea)	Orchestrare autonomă servicii urbane
Integrare satelitară	Parţială (Rel. 17)	Nativă (terestru + NTN)	Rezilienţă, acoperire globală

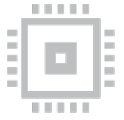
3.2. Smart Cities şi 6G

- Platformele tradiţionale IoT şi reţelele 5G, deşi puternice, sunt cvasi-insuficiente pentru a susţine complexitatea arhitecturilor de tip SC.
- Reţelele 6G vor fi componenta de bază pentru următoarea fază a dezvoltării SC, integrând inteligenţa artificială, inteligenţa de tip edge, frecvenţele din gama terahertz într-o singură structură coerentă.



Contribuţii personale - IoT, SloT şi Smart Cities

- Trecerea de la IoT la SloT şi utilizarea SloT în diverse contexte, de la comunicaţii oportunistice de tip D2D la aplicaţii de turism accesibil
- C. Marche, V. Popescu, L. Atzori and M. Nitti, "Context-Aware Itinerary Planning in Smart Tourism: IoT-Enabled Design and Tourist Profiling," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 13, no. 15, Aug.1, 2026
- Stelea G.A., POPESCU VLAD, Gavrilă Cristinel, „From Things to Services: A Social IoT Approach for Tourist Service Management”, *IEEE ACCESS*, vol. 8, pp. 153578-153588, 2020.
- Nitti M., POPESCU VLAD, Fadda M., „Using an IoT Platform for Trustworthy D2D Communications in a Real Indoor Environment”, *IEEE TRANSACTIONS ON NETWORK AND SERVICE MANAGEMENT*, 2019
- Michele Nitti, George Alex Stelea, POPESCU VLAD, Mauro Fadda, „When social networks meet D2D communications: A survey”, *SENSORS*, vol. 19, no. 2, 2019
- Puddu R., POPESCU VLAD, Murrioni M., Fadda M., „Managing Accessible Tourist Services in a Social Manner”, 2021 IEEE IOT VERTICAL AND TOPICAL SUMMIT FOR TOURISM, 2021.
- Vlad Popescu, Michele Nitti, Daniele Giusto, Simone Zanda, Massimo Di Francesco, Carlino Casari, Maria Laura Clemente, Cristian Lai and Carlo Milesi „Using IoT for Accessible Tourism in Smart Cities”, In "Assistive Technologies In Smart Cities", book edited by Prof. Alejandro Rafael Garcia Ramirez, ISBN 978-953-51-6196-7, Publisher: InTech 2018



Contribuţii personale - 5G şi tranziţia spre 6G

- Plecând de la experienţă acumulată cu sistemele SDR, s-a extins aria de cercetare şi spre tehnologiile 5G în contextul transmisiilor video

- Maurizio Murrone, Matteo Anedda, Mauro Fadda, Pietro Ruii, POPESCU VLAD, Zaharia Corneliu, Daniele Giusto, „6G-Enabling the New Smart City: A Survey”, SENSORS, vol. 23, no. 17, 2023.
- Pietro Ruii, Claudio Rubattu, Matteo Anedda, Andrea Lagorio, POPESCU VLAD, Amarie Nicuşor, Daniele Giusto, Mauro Fadda, „Edge-to-Cloud Continuum Orchestrator for Distributed Video Applications”, 2024 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING,
- Mauro Fadda, Pasquale Scopelliti, POPESCU VLAD, Mariella Sole, Daniele Giusto, „On the Feasibility of 5G Massive Concurrent Video Uplink”, 2021 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING





- Convergenţa tehnologiilor media, infrastructurilor în reţea, şi paradigma Realităţii Extinse Hibride (Hybrid XR), care depăşeşte limitările VR şi AR,
- Dezvoltarea Hybrid XR a fost accelerată de mai multe dezvoltări tehnologice convergente:
 - maturizarea mediilor multisenzoriale (mulsemedia - efectele senzoriale suplimentare - haptice, olfactive, termice)
 - SloT - orchestrarea dinamică a dispozitivelor inteligente în spaţii fizice
 - progresele în tehnicile de streaming cu latenţă ultra-redusă, reţelele 5G/6G şi sincronizare de precizie au redus barierele fizic/digitale pentru experienţe distribuite în timp real.

4.1 Media multisenzorială pentru XR şi Hybrid XR

- Sistemele XR au fost tradiţional ancorate în paradigma audiovizuală, unde imersiunea vizuală şi sunetul spaţial au format fundamentul prezenţei virtuale. Atingerea, mirosul şi gustul joacă însă de asemenea roluri importante în modul în care înţelegem, navigăm şi interacţionăm cu mediile
- Media Multisenzorială (mulsemedia) şi sisteme XR hibride

Caracteristică	Multimedia (AV)	Mulsemedia (MPEG-V)	XR Hibrid
Modalităţi suportate	Audio + Video	AV + haptic, flux de aer, olfactiv	Spectru complet (vedere, sunet, atingere, miros, termic)
Sincronizare	Sincronizare Audio-Video	AV + metadate efecte senzoriale	Sincronizare cross-modală în timp real (condusă de AI)
Mediu de livrare	PC, TV, Cinema	Smart Home, Gaming	Căşti XR, IoT, Cloud–Edge
Interacţiune utilizator	Limitată	Recepţie multisenzorială pasivă	Activă, bidirecţională, cu feedback activat
Adaptivitate	Niciuna	Efecte pre-scriptate	Personalizare adaptivă în timp real
Dimensiune socială	Locală	Locală (casă, laborator)	Distribuită, prezenţă hibridă



4.1 Media multisenzorială pentru XR şi Hybrid XR

- Comunicarea dintre dispozitivele IoT senzoriale, platformele XR şi utilizatori impune cerinţe tehnice severe: latenţă ultra-reduşă pentru sincronizarea inter-modală,
- fiabilitate ridicată pentru experienţa continuă, fără întreruperi
- scalabilitate pentru sesiuni multi-utilizator.

Protocol	Latenţă	Avantaje	Provocări	Aplicabilitate XR
MQTT	<100 ms tipic	Lightweight, pub-sub, larg adoptat în IoT, overhead minim	Garanţii QoS limitate pentru XR la scară; nu suportă streaming media	Orchestrare dispozitive senzoriale (haptice, olfactive); semnalizare stare
CoAP	50–200 ms	REST-like, overhead redus, UDP-based, suport multicast	Suport slab pentru orchestrare eveniment complex; fără criptare nativă	Comandă dispozitive IoT cu resurse reduse în scenarii mulsemmedia
WebRTC	<50 ms cu STUN/TURN	Audio/video real-time, E2E encryption (DTLS/SRTP), suport browser nativ	Necesită adaptare pentru metadata senzoriale; scalabilitate limitată	Flux A/V principal în XR; bază pentru MoQ
5G MEC APIs	<20 ms (profil URLLC)	Latenţă ultra-reduşă, procesare edge, QoS garantat prin network slicing	Necesită integrare infrastructură telco;	Streaming point cloud / MIV în timp real; sincronizare mulsemmedia <20ms
WebSocket	<10 ms (LAN) / 30–80 ms (WAN)	Full-duplex persistent, suport browser universal, uşor de implementat	Fără garanţii de latenţă; nu suportă multiplexare multi-stream nativă	Metadata senzoriale şi comenzi de control în timp real pentru mulsemmedia
RTP/SRTP	5–30 ms (LAN)	Standard ISO pentru transport media, jitter buffer, RTCP feedback	Necesită UDP; NAT dificil fără STUN/TURN	Transport media de bază în MIV şi V-PCC pentru experienţe 3D imersive
QUIC/MoQ	<30 ms; –30% faţă de WebRTC	Multiplexare multi-stream, 0-RTT reconnect, pierdere pachete fără head-of-line blocking	Implementări imature; MoQ în stadiu de draft IETF (2024)	Streaming XR holografic de generaţie viitoare; candidat post-WebRTC



4.2 Evaluarea QoE pentru sisteme XR

- Evaluarea QoE pentru sisteme XR utilizează o combinație de metode subiective, obiective, hibride și implicite, fiecare capturând dimensiuni complementare ale experienței utilizatorului. Spre deosebire de evaluarea QoE pentru video 2D, VR și XR necesită un portofoliu extins care să adreseze prezența, cybersickness, coerența senzorială inter-modală și interactivitatea în timp real
- O dimensiune critică și distinctivă a QoE pentru XR este prezența (presence) - senzația de „a fi acolo”, în mediul virtual, și co-prezența (co-presence) - senzația de a împărtăși spațiul cu alți participanți.
- Prezența nu este o consecință directă a calității tehnice a sistemului, ci un construct psihologic multifactorial influențat de coerența senzorială, libertatea de mișcare și receptivitatea mediului la acțiunile utilizatorului

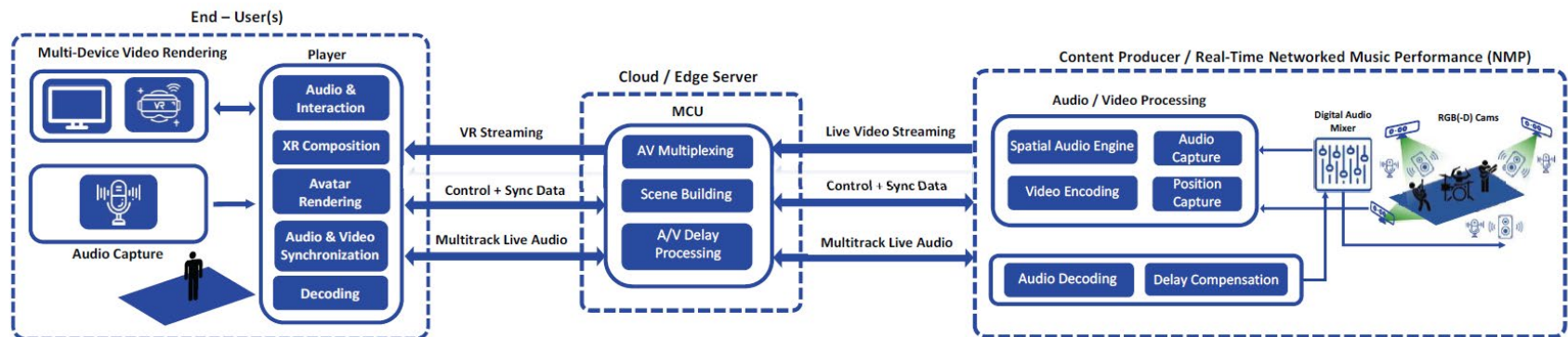


Contribuţii personale

- Contribuţiile personale la acest ultim capitol al tezei sunt datorate quasi exclusiv participării ca şi partener în cadrul proiectului european Horizon “HEAT – Hybrid Extended Reality”, început în luna iunie 2024.
- O primă lucrare, de poziţionare a proiectului în literatură, a fost publicată deja în iunie 2024 sub titlul “Toward Interactive and Distributed Hybrid Extended Reality Experiences”, constituind o trecere în revistă a componentelor pilot ale proiectului.
- Contribuţiile ştiinţifice din ultimii doi ani s-au axat pe două direcţii distincte în cadrul contextului XR: aplicaţii audio/video pentru concerte imersive XR şi sisteme bidirecţionale de interacţiune live în medii XR

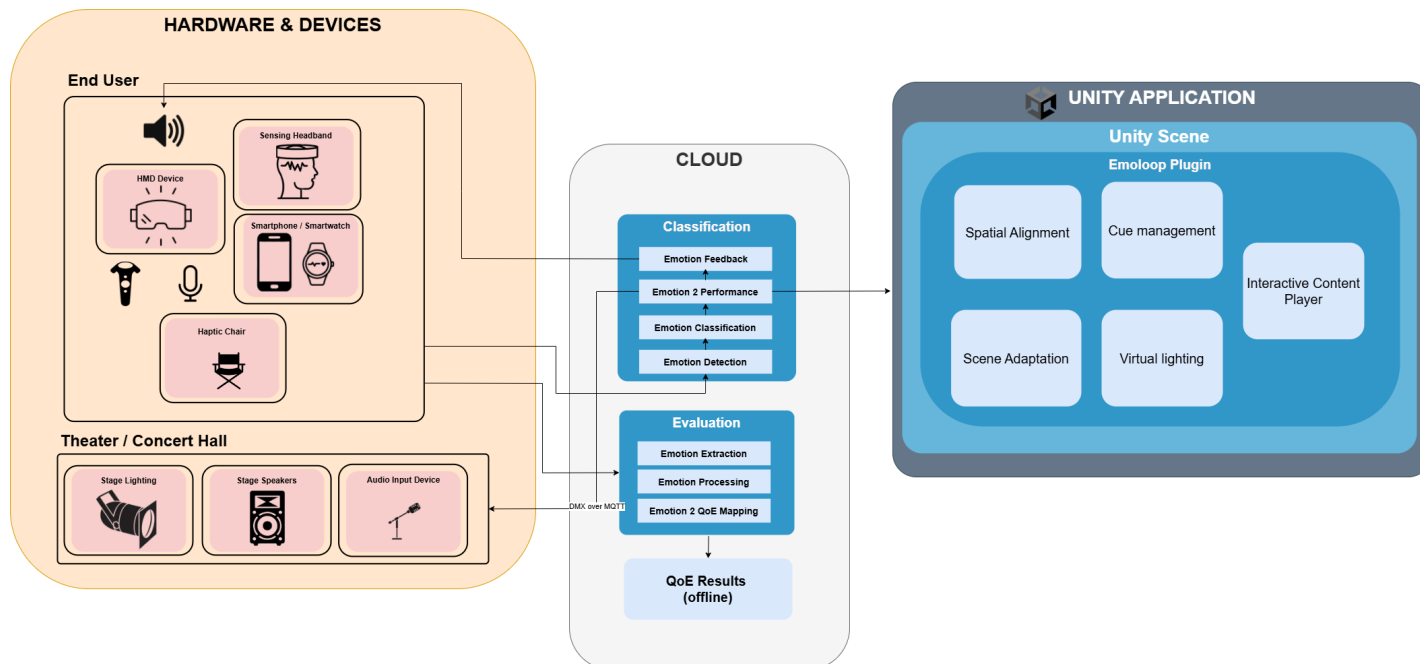
Contribuţii personale - aplicaţii audio/video pentru concerte imersive XR

- streaming-ul în timp real al concertelor de muzică, unde utilizatorii echipaţi cu un hardware adecvat (Smart TV, PC, smartphone, headset XR) pot oferi feedback muzicienilor prin intermediul mediului virtual..



Contribuţii personale - sisteme bidirecţionale de interacţiune live în medii XR

- Integrarea mai multe modalităţi de achiziţie a datelor senzoriale, incluzând detecţia expresiei faciale, achiziţia datelor fiziologice, toate folosite pentru a interpreta starea afectivă a membrilor publicului şi a modula prestaţia artistică în consecinţă.

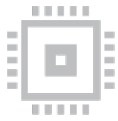




Contribuţii personale - pilotul XR Blues – proiectul

- XRBlues se concentrează pe reprezentare artistică live a unei trupe blues într-un spaţiu fizic (Bastionul Țesătorilor), captată prin camere video RGB-D
- Scena şi fundalul sunt captate offline, în avans, ca mediu static, în timp ce sunetul este achiziţionat dinamic de la mixerul de scenă şi sincronizat cu fluxul video volumetric.
- Reprezentările volumetrice ale muzicienilor şi ale instrumentelor lor sunt captate live şi compuse cu mediul de scenă pre-captat.
- Membrii audienţei la distanţă experimentează performanţa simultan cu audienţa prezentă fizic, prin căşti XR sau ecrane 2D. Avatarurile lor sunt randate în locaţia virtuală şi proiectate către audienţa prezentă fizic.
- Semnalele fiziologice achiziţionate de la utilizatorii la distanţă sunt utilizate pentru a modula aspectul avatarului, transmiţând starea afectivă către interpreţi.
- Membrii audienţei virtuale pot schimba dinamic punctul de vedere în cadrul mediului virtual, deplasându-se liber în jurul scenei şi pe scenă, experienţa lor audio fiind adaptată în funcţie de poziţia spaţială şi de proximitatea faţă de o anumită sursă de sunet.



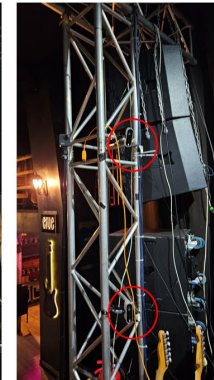
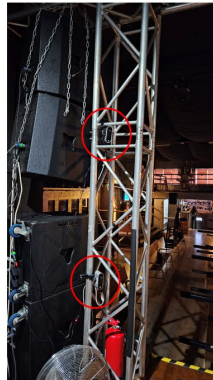


Contribuţii personale - pilotul XR Blues – proiectul

■ Mai 2025



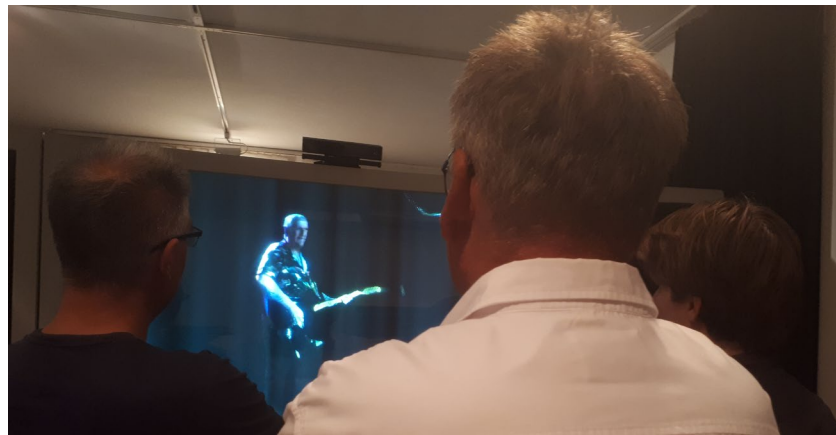
■ Sept. 2025





Contribuţii personale - pilotul XR Blues – proiectul

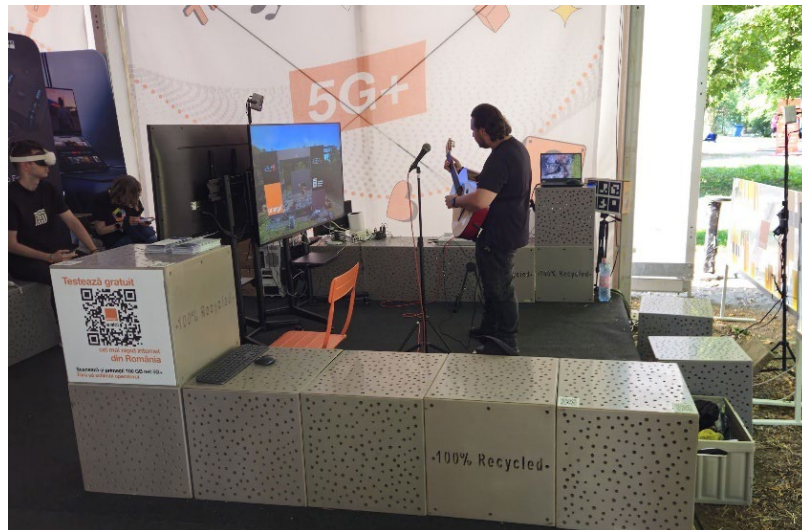
■ Dec. 2025





Contribuţii personale - pilotul XR Blues – proiectul

■ Aug. 2026



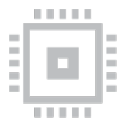
■ Sept. 2026



Contribuţii personale - sisteme bidirecţionale de interacţiune live în medii XR

- Amarie Nicuşor, Gianluca Fadda, Maurizio Murroni, Alexandru Marian, POPESCU VLAD, „An Architecture for Real-Time Interactive Music Performances”, 2025 23RD MEDITERRANEAN COMMUNICATION AND COMPUTER NETWORKING CONFERENCE, MEDCOMNET, 2025.
- Amarie Nicuşor, Gianluca Fadda, Maurizio Murroni, Alexandru Marian, POPESCU VLAD, Daniele Giusto, Alin Ludu Dumbrava, „Immersive Application for Real-Time Interactive Music Performances Using Spatial Audio”, 2025 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BROADBAND MULTIMEDIA SYSTEMS AND BROADCASTING,
- Murroni M., Muntean G., Montagud M., POPESCU VLAD, „Toward Interactive and Distributed Hybrid Extended Reality Experiences”, PROCEEDINGS OF THE 2024 ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE MEDIA EXPERIENCES WORKSHOPS, IMXW 2024,
- A.A. Simiscuka, Gianluca Fadda, POPESCU VLAD, Maurizio Murroni, Gabriel-Miro Muntean, „Immersive live concert: A multi-sensory experience based on real-time lyrics detection from spatial audio data”, ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE MEDIA EXPERIENCES WORKSHOPS (IMXW), 2025
- Amarie Nicuşor, Gianluca Fadda, POPESCU VLAD, Jean-Marius Ghenta, Maurizio Murroni, A.A. Simiscuka, „Live feedback for immersive music performances — a case study”, ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE MEDIA EXPERIENCES WORKSHOPS (IMXW), 2025.
- M. Murroni, G. Muntean, M. Montagud, and V. Popescu, “Toward Interactive and Distributed Hybrid Extended Reality Experiences,” in Proc. ACM Int. Conf. on Interactive Media Experiences Workshops (IMXw’24), Stockholm, Sweden, Jun. 2024





■ Studii doctorale:

2000 - 2006 – Universitatea Transilvania din Braşov - Facultatea de Inginerie Electrică şi Ştiinţa Calculatoarelor – Diploma de doctor în domeniul Inginerie Electronică şi Telecomunicaţii cu teza intitulată „Contribuţii la prelucrarea şi transmisia radio a datelor în mediul subteran” sub coordonarea Prof. Dr. Ing. Iuliu Szekely.

■ Studii aprofundate:

2000 – 2001 – Universitatea Transilvania din Braşov – Facultatea de Inginerie Electrică şi Ştiinţa Calculatoarelor, “Tehnici de Proiectare Automată în Electronică”

■ Studii de licenţă:

1994 – 1999 – Universitatea Transilvania din Braşov, Facultatea de Inginerie Electrică şi Ştiinţa Calculatoarelor, Electronică Aplicată – Diplomă de inginer.

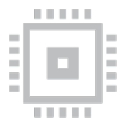


■ Publicaţii:

- 1 carte în editură naţională
- 3 capitole de cărţi în edituri internaţionale;
- 3 materiale didactice în edituri naţionale;
- 103 articole ştiinţifice publicate în reviste şi conferinţe internaţionale indexate ISI sau BDI, dintre care:
 - 23 în reviste indexate ISI;
 - 36 în proceedings indexate ISI;
 - 15 articole indexate BDI;
- aproximativ 1300 de citări în articole dintre care peste 550 în articole indexate ISI (reviste şi proceedings);

■ H-Index:

- WoS: 14
- Scopus: 18
- Google Scholar: 23



■ Proiecte coordonate:

- Director de proiect „DySPAN – Rețele de Acces Dinamic la Spectru”. Proiect de cercetare al Universității din Cagliari, în cadrul programului POR Sardegna FSE 2007–2013, L.R. 7/2007 „Promovarea cercetării științifice și a inovării tehnologice în Sardinia”, finanțat din fonduri europene 2010 - 2012
- Director de proiect R/D “STARGATE MIPS”, proiect finanțat de Agenția Spațială Româna prin intermediul programului ROSA/STAR C3, 2017 – 2018;
- Responsabil din partea Universității Transilvania și coordonator tehnic în proiectul EU Horizon HEAT- Hybrid Extended reAlITy , Grant agreement ID: 101135637, 2024 -2 2027

■ Proiecte depuse sau în curs de depunere:

- “Validated Ethical Responsibility in Intelligent Technology – VERITY” – propunere de proiect în cadrul apelului NATO SPS 2026/1 – depus mai 2026
- QANSHIELD: Evidence-Grounded NIS2/DORA Compliance and Post-Quantum Migration for European SMEs – Eureka Stars 11 – depus 10.09.2026
- HEARTS - Hybrid spacEs And aRTistic inTelligence for the performing artS, Proiect HORIZON-CL2-2026-01-HERITAGE-01 – deadline 23.09.2026





■ Membru în asociaţii ştiinţifice:

- *IEEE Broadcasting Society (BTS) – preşedinte al Chapter-ului BTS din România*
- IEEE Aerospace and Electronic Systems Society (AESS) – membru fondator al panel-ului Glue Technologies for Space Systems
- IEEE Communication Society (ComSoc)

■ Recenzor reviste de specialitate:

- International Journal of Digital Multimedia Broadcasting - Hindawi Publishing Corporation,
- Computer Networks,
- IEEE Vehicular Technology Magazine,
- International Journal of Communication Systems,
- Wireless Communications and Mobile Computing, International Journal of Communication Systems
- *Cerere depusă de Editor Asociat pentru IEEE Transaction on Broadcasting*



- construirea unei cariere academice în cadrul unui colectiv cu un înalt nivel profesional pentru a contribui la creşterea valorică a programelor de studii din facultate şi a rezultatelor de cercetare ale Facultăţii IESC.
- consolidarea şi creşterea valorică a programului de licenţă Tehnologii şi Sisteme de Telecomunicaţii. actualizarea planurilor de învăţământ, corelarea disciplinelor cu cerinţele pieţei muncii şi supervizarea activităţilor de predare
- coordonare doctoranzi – membru în comisia de îndrumare
 - Drd. Tuyishime Emmanuel, coordonator Prof. Dr. Petru Cotfas, tema: Addressing Cybersecurity Challenges in Remote Control Engineering Applications
 - Drd. Florin Radu, coordonator Prof. Dr. Petru Cotfas, tema: Instrumentaţia virtuală şi controlul la distanţă – aplicaţii în educaţie, cercetare şi industrie
 - Drd. Nicuşor Amarie, coordonator Prof. Dr. Titus Bălan, tema: Modelarea şi evaluarea interacţiunii bidirecţionale în aplicaţii VR şi XR
 - Drd. Daniel Calaver, coordonator Prof. Dr. Titus Bălan, tema: Metode hardware-software de achiziţie şi prelucrare semnale audio-video pentru aplicaţii CVI în timp real





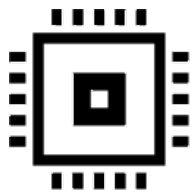
■ Posibile direcţii de cercetare doctorală:

- Detecţie spectrală adaptivă în reţele 6G - extinderea CR/SDR spre AI-native networking pentru detecţia spectrului multi-bandă (sub-6 GHz, mmWave, THz) în medii cu interferenţe complexe.
- Arhitecturi IoT reziliente pentru oraşe inteligente- sisteme IoT/SlIoT securizate prin proiectare pentru transport, energie şi sănătate, cu edge computing şi autentificare distribuită conforme GDPR.
- Reţele Non-Terestre (NTN) şi conectivitate LEO - arhitecturi hibride terestre-satelitare pentru broadband în zone izolate, cu evaluarea compromisurilor latenţă-capacitate-cost (Starlink, OneWeb, IRIS²).
- Optimizarea QoE pentru media imersivă distribuită - modele predictive integrând semnale fiziologice (eye gaze, EDA, HRV) cu metrice de reţea pentru controlul adaptiv al fluxurilor mulsemmedia pe 5G/6G.
- Arhitecturi Hybrid XR pentru spectacol live - sisteme fizic-virtuale pentru concerte şi instalaţii imersive, cu sincronizare sub 30 ms, streaming volumetric (QUIC/MoQ) şi reprezentare 3D (MIV/V-PCC).
- Sisteme afective şi neuro-adaptive pentru XR - recunoaştere emoţională multimodală (EEG, expresie facială, IMU) tip EmoLoop, pentru dramaturgie participativă, reabilitare neurologică şi personalizare adaptivă.





- Sporirea valorii şi competenţelor colectivului de cercetare al departamentului.
- Atragerea de fonduri prin proiecte naţionale, internaţionale şi cu terţi, iniţiate sau susţinute în colaborare cu parteneri din ţară şi străinătate.
- Formarea viitoarelor cadre didactice pentru TSTC şi creşterea vizibilităţii autorului, echipei şi universităţii prin publicaţii Q1/Q2 (min. 2/an), articole la conferinţe ISI (min. 3/an) şi organizarea de evenimente ştiinţifice.
- Consolidarea şi dezvoltarea de parteneriate naţionale şi internaţionale (Erasmus+, proiecte comune, evenimente ştiinţifice, mediul economic), cu accent pe întărirea colaborărilor cu Centrul Naţional Cyberint, STS, ANCOM, Academia Tehnică Militară, Agenţia de Cercetare pentru Tehnică şi Tehnologii Militare şi DRESMARA.



**Universitatea
Transilvania
din Brașov**

**FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ
ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR**

VĂ MULȚUMESC!

