



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

Departamentul de Electronică și Calculatoare

Cristinel GAVRILĂ

Contribuții la Distribuția Fluxurilor Digitale în Rețelele de Comunicații

Contributions to Digital Streams Distribution in Communication Networks

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Florin SANDU

BRAȘOV, 2021

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov

Nr. din

PREȘEDINTE: Prof.dr.ing. Mihai Ivanovici - Universitatea Transilvania din Brașov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: Prof.dr.ing. Florin Sandu - Universitatea Transilvania din Brașov
REFERENȚI: Prof.dr.ing. Sorin Hintea - Universitatea Tehnica Cluj Napoca
Conf.dr.ing. Ioan Tache - Universitatea Politehnica din București
Prof.dr.ing. Petre Ogruțan - Universitatea Transilvania din Brașov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:

18 Septembrie 2021, ora 10:00.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa cristinel.gavrila@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS

	Pg. Teza	Pg. Rezumat
Introducere.....	1	1
Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor în domeniu.....	7	7
1.1 Fluxurile multimedia.....	7	7
1.1.1 Streaming media.....	7	7
1.1.2 Modele de distribuție bazate pe managementul calității serviciilor.....	8	7
1.1.3 Tendințe și scenarii viitoare de utilizare.....	11	8
1.2 TV digitală și paradigma OTT a conținutului independent de transportator	13	8
1.2.1 Modele clasice de distribuție și consum	13	9
1.2.2 Servicii OTT	15	9
1.2.3 Sinergia TV-OTT	16	9
1.3 Internetul tuturor Obiectelor (IoE).....	19	9
1.3.1 Provocări tehnologice în Internetul obiectelor (IoT)	20	10
1.3.2 Internetul Obiectelor Multimedia (IoMT)	21	10
1.3.3 Radio definit software în aplicațiile IoT.....	23	10
1.4 Convergența conținutului și a tehnologiilor	27	11
1.4.1 Perspectiva Cloud	28	11
1.4.2 Servicii OTT-TV în Cloud	28	11
1.4.3 Sinergia IoT - TV	29	11
1.5 Sumarul capitolului.....	30	12
Capitolul 2. Fluxuri multimedia în rețele de bandă largă.....	31	13
2.1 Streaming multimedia	31	13
2.1.1 Sisteme de streaming multimedia – arhitectură și caracteristici.....	33	13
2.1.2 Protocoale de streaming.....	35	14
2.1.3 Familia RTP (Real-time Transport Protocol).....	35	14
2.1.4 Protocoale adaptive	36	14
2.2 Streaming adaptiv asistat de server și rețea.....	39	14
2.2.1 Arhitectura și schimbul de mesaje în tehnologia SAND	40	15
2.2.2 Optimizare orientată pe aplicație.....	41	15
2.2.3 Arhitectură Client-Server.....	42	15
2.3 Soluție pentru managementul lățimii de bandă	43	15

2.3.1 Dispozitivul de monitorizare a mișcării și detectare facială.....	44	16
2.3.2 Dispozitivul client.....	45	17
2.3.3 Testare și validare.....	45	17
2.4 Soluție automată pentru testarea și dimensionarea platformelor de streaming OTT.....	48	18
2.4.1 Serverul de control al platformei de testare.....	49	19
2.4.2 Dispozitiv client și aplicația de testare.....	50	19
2.4.3 Rezultate experimentale.....	51	20
2.5 Sumarul capitolului.....	53	20
Capitolul 3. Soluții pentru televiziunea digitală de ultimă generație.....	54	21
3.1 Middleware DVB/IPTV modular – independența de platformă.....	54	21
3.1.1 Aplicații TV digitale.....	55	21
3.1.2 Abordări publice și proprietare.....	57	21
3.1.3 Middleware DVB/IPTV Inaris.....	58	22
3.2 Televiziune SAT>IP.....	59	22
3.2.1 Arhitectura generică.....	60	23
3.2.2 Protocolul SAT>IP.....	61	23
3.2.3 Soluție de streaming pentru clienți mobili.....	61	23
3.3 Televiziune hibridă.....	63	24
3.3.1 Arhitectura și principii de funcționare.....	63	24
3.3.2 Soluții HbbTV pe platforme Linux.....	67	25
3.3.3 Dispozitiv companion.....	68	25
3.3.4 Sincronizare media.....	69	26
3.3.5 Sincronizare inter-dispozitiv.....	70	26
3.4 TV în cadrul platformei Android.....	72	27
3.4.1 Cadrul de dezvoltare TV Input (TIF).....	73	27
3.4.2 Abstractizarea intrărilor TV.....	74	28
3.4.3 Soluție Android TV.....	75	28
3.5 Demonstratoare HbbTV.....	77	29
3.5.1 Demonstrator HbbTV Embedded Linux în mediu local.....	78	29
3.5.2 Demonstrator HbbTV Android.....	83	31
3.6 Sumarul capitolului.....	86	32
Capitolul 4. Optimizarea distribuției de fluxuri în Cloud.....	87	33

4.1 Paradigma Cloud și tipuri de servicii.....	87	33
4.2 Servicii de Streaming în Cloud.....	89	33
4.2.1 Arhitectura funcțională.....	90	33
4.2.2 Arhitectura Cloud streaming în timp real.....	92	34
4.3 Televiziune Cloud	92	34
4.3.1 Procesarea și distribuția fluxurilor în Cloud	93	34
4.3.2 Furnizori virtuali multi-canal.....	93	35
4.3.3 Televiziunea hibridă în Cloud.....	94	35
4.4 Video 360° și realitate virtuală în Cloud.....	95	35
4.4.1 Soluția video 360° Fraunhofer	97	36
4.4.2 Soluția Wowza - streaming Video 360° și VR	99	36
4.5 Demonstrator Video 360° și VR în Cloud utilizând infrastructura HbbTV.....	99	36
4.5.1 Arhitectura și principiul de funcționare.....	100	37
4.5.2 Sistemul de furnizare media 360° și VR	101	38
4.5.3 Scenariu de aplicare – campanii publicitare cu experiență vizuală imersivă.....	102	38
4.6 Sumarul capitolului.....	104	39
Capitolul 5. Comunicații mașină-mașină (M2M) terestre și prin satelit.....	105	40
5.1 Internetul obiectelor – concept, taxonomie și caracteristici.....	105	40
5.1.1 Arhitectura IoT.....	106	40
5.1.2 Standarde și protocoale în IoT	107	40
5.1.3 Protocoale la nivelul sesiune.....	107	41
5.1.4 Protocoale la nivelul legăturii de date.....	109	41
5.2 Radio definit software (SDR) în contextul M2M/IoT.....	112	41
5.2.1 Comunicații satelitare bazate pe platforme SDR.....	112	41
5.2.2 Rolul legăturilor satelitare în aplicații IoT/M2M	114	42
10 5.2.3 Soluții comerciale pentru comunicații M2M prin satelit	115	42
5.3 Comunicații M2M/IoT - cerințe funcționale și scenarii de aplicare	115	42
5.3.1 Scenarii de aplicare.....	116	43
5.3.2 Legătura terestră – specificații funcționale.....	117	43
5.3.3 Legătura satelitară – specificații funcționale.....	119	43
5.3.4 Platforma radio definit software – specificații funcționale	122	44
5.4 Demonstrator M2M/IoT hibrid “STARGATE-MIPS”	125	44

5.4.1 Rețele de senzori și actuatore fără fir (WSAN).....	126	45
5.4.2 Arhitectură și principiu de funcționare.....	128	46
5.4.3 Modem DVB-S2/X pentru legătura descendentă (downlink).....	132	47
5.4.4 MODCOD optim	134	48
5.4.5 Integrare modul DVB-S2/X cu portalul terestru.....	137	48
5.4.6 Aplicația client.....	140	49
5.4.7 Re-configurabilitate și securitate.....	141	50
5.4.8 Integrare, testare și validare în mediul de laborator.....	143	51
5.5 Sumarul capitolului.....	150	53
Capitolul 6. Convergența IoT-OTT-TV.....	151	54
6.1 Rolul sistemelor TV în IoT.....	151	54
6.1.1 Stocare și procesare de informații	152	54
6.1.2 Sistem central de vizualizare.....	152	54
6.1.3 Portal central de interacțiune.....	153	54
6.1.4 Releu (colector/furnizor) local date	154	55
6.2 Inteligența artificială (IA) în televiziunea digitală	155	55
6.2.1 IA aplicată în sistemele TV.....	156	55
6.2.2 Interacțiune vocală.....	157	55
6.2.3 Recunoașterea scenelor și conținutului video în timp real.....	157	55
6.2.4 Livrarea de conținut multimedia raportată la condiții și context.....	157	56
6.3 Unificarea experienței utilizatorului – Soluții pentru mediul inteligent local.....	158	56
6.3.1 Portal IoT hibrid.....	160	56
6.3.2 WSAN în contextul domotic.....	162	58
6.3.3 Clienții mobili	163	58
6.3.4 Aplicații HbbTV	164	58
6.3.5 Asistentul virtual.....	168	60
6.3.6 Demonstratorul e-Health.....	169	61
6.4 Aspecte legate de securitate.....	171	61
6.4.1 Soluția Cloudflare Orbit.....	171	61
6.4.2 Soluția Bitdefender BOX	172	62
6.4.3 Integrare cu soluția SH.....	173	62
6.5 Evaluarea subiectivă QoE.....	174	62

6.5.1 Mediul de testare.....	175	63
6.5.2 Tipuri de fluxuri video și notificări	176	63
6.5.3 Participanți și Procedura de evaluare.....	177	64
6.5.4 Rezultate.....	178	64
6.6 Sumarul capitolului.....	180	65
Capitolul 7. Concluzii generale, contribuții originale și dezvoltări viitoare.....	181	66
7.1 Contribuții originale	183	68
7.2 Dezvoltări viitoare.....	191	76
7.3 Validarea și diseminarea rezultatelor științifice în publicații și proiecte de cercetare	192	77
Referințe.....	194	78
Publicații proprii.....	194	78
Bibliografie.....	195	78
Web-grafie	1201	84
Rezumat (lb. română/lb. engleză).....	xxix	86

TABLE OF CONTENTS

	Pg. Thesis	Pg. Abstract
Introduction.....	1	1
Chapter 1. State-of-the-art.....	7	7
1.1 Multimedia streams	7	7
1.1.1 Media streaming.....	7	7
1.1.2 Quality of service management based distributions models	8	7
1.1.3 Future trends and usage scenarios	11	8
1.2 Digital TV and the carrier-independent OTT content paradigm.....	13	8
1.2.1 Classic distribution and consumption models.....	13	9
1.2.2 OTT Services.....	15	9
1.2.3 TV-OTT Synergy	16	9
1.3 Internet of Everything (IoE).....	19	9
1.3.1 IoT technological challenges.....	20	10
1.3.2 Internet of Multimedia Objects (IoMT)	21	10
1.3.3 Software Defined Radio in IoT applications	23	10
1.4 Content and technology convergence.....	27	11
1.4.1 The Cloud perspective	28	11
1.4.2 Cloud OTT-TV services.....	28	11
1.4.3 IoT - TV synergy	29	11
1.5 Chapter summary	30	12
Chapter 2. Multimedia streams in broadband networks	31	13
2.1 Multimedia streaming.....	31	13
2.1.1 Multimedia streaming systems - architecture and features.....	33	13
2.1.2 Streaming protocols.....	35	14
2.1.3 RTP Family (Real-time Transport Protocol).....	35	14
2.1.4 Adaptive protocols.....	36	14
2.2 Server and network assisted streaming.....	39	14
2.2.1 Architecture and message exchange in SAND technology	40	15
2.2.2 Application-oriented optimization.....	41	15
2.2.3 Client-Server architecture	42	15
2.3 Bandwidth management solution	43	15

2.3.1 Motion monitoring and face detection device.....	44	16
2.3.2 Client device	45	17
2.3.3 Testing and validation.....	45	17
2.4 Automatic solution for testing and optimization of OTT streaming platforms.....	48	18
2.4.1 Platform test control server	49	19
2.4.2 Client device and test application	50	19
2.4.3 Experimental results.....	51	20
2.5 Chapter summary	53	20
Chapter 3. NextGen digital television solutions.....	54	21
3.1 Modular DVB/IPTV middleware – platform independence.....	54	21
3.1.1 Digital TV applications.....	55	21
3.1.2 Open and proprietary approaches	57	21
3.1.3 Inaris DVB/IPTV Middleware.....	58	22
3.2 SAT>IP television	59	22
3.2.1 Generic architecture	60	23
3.2.2 SAT>IP protocol.....	61	23
3.2.3 Mobile customers streaming solution	61	23
3.3 Hybrid television	63	24
3.3.1 Architecture and working principles.....	63	24
3.3.2 HbbTV solutions on Linux platforms	67	25
3.3.3 Companion device.....	68	25
3.3.4 Media synchronization	69	26
3.3.5 Inter-device synchronization.....	70	26
3.4 Android TV platforms.....	72	27
3.4.1 TV Input Framework (TIF).....	73	27
3.4.2 Abstract TV input	74	28
3.4.3 Android TV solution	75	28
3.5 HbbTV demonstrators.....	77	29
3.5.1 HbbTV Embedded Linux local demonstrator	78	29
3.5.2 HbbTV Android demonstrator.....	83	31
3.6 Chapter summary	86	32
Chapter 4. Cloud based stream distribution optimization.....	87	33

4.1 Cloud paradigm and types of services	87	33
4.2 Cloud based streaming services.....	89	33
4.2.1 Functional architecture.....	90	33
4.2.2 Live streaming Cloud architecture	92	34
4.3 Cloud television	92	34
4.3.1 Cloud based processing and distribution.....	93	34
4.3.2 Multichannel virtual providers	93	35
4.3.3 Cloud based hybrid TV	94	35
4.4 Cloud based 360° video and virtual reality.....	95	35
4.4.1 Fraunhofer 360° video solution	97	36
4.4.2 Video 360° and VR streaming - Wowza solution.....	99	36
4.5 Cloud 360° Video and VR Demonstrator based on HbbTV infrastructure	99	36
4.5.1 Architecture and working principles.....	100	37
4.5.2 Media 360° and VR provider	101	38
4.5.3 Use case - immersive visual experience advertising campaigns.....	102	38
4.6 Chapter summary	104	39
Chapter 5. Terrestrial and satellite M2M communications.....	105	40
5.1 Internet of Things – Concept, taxonomy and characteristics.....	105	40
5.1.1 IoT architecture.....	106	40
5.1.2 IoT standards and protocols.....	107	40
5.1.3 Session layer protocols.....	107	41
5.1.4 Data link layer protocols.....	109	41
5.2 Software Defined radio (SDR) in M2M/IoT context	112	41
5.2.1 SDR based satellite communications.....	112	41
5.2.2 The role of satellite links in IoT/M2M applications	114	42
5.2.3 Commercial solutions for M2M satellite communications	115	42
5.3 M2M/IoT communications- functional requirements and use cases	115	42
5.3.1 Use cases.....	116	43
5.3.2 Terrestrial connection - functional specifications.....	117	43
5.3.3 Satellite link - functional specifications.....	119	43
5.3.4 Software defined radio platform - functional specifications.....	122	44
5.4 M2M/IoT hybrid demonstrator “STARGATE-MIPS”	125	44

5.4.1 Wireless sensor and actuator networks (WSAN)	126	45
5.4.2 Architecture and working principles.....	128	46
5.4.3 DVB-S2/X downlink modem (downlink).....	132	47
5.4.4 Optimum MODCOD	134	48
5.4.5 DVB-S2/X module - gateway integration.....	137	48
5.4.6 Client application.....	140	49
5.4.7 Reconfigurability and security	141	50
5.4.8 Integration, testing and validation in laboratory environment	143	51
5.5 Chapter summary	150	53
Chapter 6. IoT-OTT-TV convergence	151	54
6.1 Role of TV systems in IoT	151	54
6.1.1 Data storage and processing.....	152	54
6.1.2 Central viewing system	152	54
6.1.3 Central interaction gateway.....	153	54
6.1.4 Local data relay (collector/supplier).....	154	55
6.2 Artificial intelligence (AI) in digital television	155	55
6.2.1 AI applied in TV systems	156	55
6.2.2 Voice interaction.....	156	55
6.2.3 Real-time scenes and video content recognition.....	157	55
6.2.4 Delivery of multimedia content in relation to conditions and context	157	56
6.3 Unifying the user experience - Smart home environment solutions.....	158	56
6.3.1 IoT hybrid gateway.....	160	56
6.3.2 WSAN in home automation context.....	162	58
6.3.3 Mobile clients.....	163	58
6.3.4 HbbTV applications.....	164	58
6.3.5 Virtual assistant.....	166	60
6.3.6 e-Health demonstrator.....	169	61
6.4 Security related topics.....	171	61
6.4.1 Cloudflare Orbit solution.....	171	61
6.4.2 Bitdefender BOX solution	172	62
6.4.3 Integration with SH solution	173	62
6.5 QoE subjective evaluation.....	174	62

6.5.1 Test environment.....	175	63
6.5.2 Types of video streams and notifications	176	63
6.5.3 Participants and Evaluation Procedure	177	64
6.5.4 Results.....	178	64
6.6 Chapter summary	180	65
Chapter 7. General conclusions, original contributions and future developments	181	66
7.1 Original contributions.....	183	68
7.2 Future developments.....	191	76
7.3 Validation and dissemination of scientific results in publications and research projects.....	192	77
References.....	194	78
Personal publications.....	194	78
Bibliography	195	78
Web-graphy.....	201	84
Abstract	xxix	86

Introducere

Evoluția impresionantă a tehnologiei din ultimele decenii a avut un impact major asupra unei plaje considerabile de domenii determinând dezvoltarea de noi tehnologii și sisteme caracterizate prin eficiență, inter-operabilitate, inter-conectivitate și cu un grad ridicat de interactivitate și integrare multi-standard capabile să deservească cerințele tot mai stricte ale consumatorilor în ceea ce privește calitatea, accesul și diversitatea. Acest avans tehnologic a determinat tranziția către modele de distribuție și consum caracterizate prin conectivitate ubicuă în care conținutul digital sub formă de structuri de date eterogene reprezintă unitatea de bază.

În ceea ce privește conținutul multimedia, serviciile de *streaming* reprezintă unele dintre cele mai eficiente mecanisme de livrare de fluxuri audio / video digitale către consumatori. Având un spectru vast de aplicabilitate – de la simple platforme de consum al conținutului interactiv (filme, seriale, știri, muzică) și până la teleconferințe sau telemedicină, conceptul de *streaming multi-media* prezintă un interes major, atât în mediul business cât și în mediul privat. Utilizarea tehnologiilor de streaming face posibilă distribuția conținutului prin rețele eterogene către milioane de utilizatori, conținut care poate fi accesat oricând, de oriunde și raportat la nevoile imediate ale consumatorilor. În plus, odată cu evoluția dispozitivelor mobile ce dețin capabilități multimedia impresionante (înregistrare video 4K, post-procesare și distribuție în timp real), un consumator poate deveni, cu ușurință și producător – “*prosumator*” – oricine putând crea și pune la dispoziție conținut contribuind astfel la diversificarea conținutului multimedia propriu-zis. Nu în ultimul rând, un alt aspect important al conceptului de media streaming, din punct de vedere al mediului business, este legat de crearea de noi servicii ce pot fi *monetizate* selectiv, la diferite granularități.

Unul alt domeniu care a înregistrat o evoluție surprinzătoare este televiziunea, un serviciu ce poate fi considerat încă omniprezent dar care riscă să piardă teren în fața tehnologiilor emergente. Tranziția de la televiziunea analogică la cea digitală DTV (*Digital Television*) a deschis un nou orizont cu privire la serviciile ce pot fi oferite. DTV reprezintă factorul decisiv care a permis migrarea de la dispozitivele TV clasice la cele moderne, conectate, capabile să ofere atât noi funcționalități cât și o experiență multimedia mult îmbunătățită. Mai mult decât atât, această migrare a reprezentat baza tranziției către integrarea corelată a două concepte până acum mutual exclusive, respectiv conceptul de difuzare (*broadcasting*) specific televiziunii și conceptul de bandă largă specific Internetului.

Deși televiziunea tradițională, bazată pe servicii liniare, este încă în uz, popularitatea acesteia în rândul consumatorilor începe să scadă, pe măsură ce consumatorii migrează către servicii dinamice, configurabile și personalizabile. Din ce în ce mai mult, conținutul multimedia este consumat pe “clienți subțiri” (“*thin clients*”) – sisteme de calcul cu resurse de procesare și de stocare reduse. “Thin clients” sunt telefoanele inteligente (*smartphones*), tabletele sau chiar unele laptop-uri (gen “ChromeBook”). Televiziunea ca și concept nu va înceta să existe, în schimb, forma acesteia precum și dispozitivele client sunt într-o continuă dezvoltare. Pe măsură ce sistemele TV devin din ce în ce

mai inteligente, distincția dintre televiziune și servicii *over-the-top* (OTT – cu conținut independent de transportator) devine insesizabilă, cele două domenii fiind în plin proces de fuzionare. Aproape tot conținutul audio / video se va îndrepta către un ecosistem hibrid, cu o viziune foarte personalizată bazată pe caracteristicile ecranului și profilul consumatorului.

Dispozitivul TV este doar unul dintre multele ecrane aflate la dispoziția consumatorului, dar este, poate, cel mai important deoarece poate îndeplini o gamă variată de roluri cum ar fi: dispozitiv de vizualizare, punct central de interacțiune, procesator local de date sau server media local. Toate aceste noi caracteristici oferă avantaje atât furnizorilor de echipamente și servicii precum și utilizatorilor prin creșterea plăcii de servicii oferite și a calității experienței.

În acest context, o extensie logică a rolului clasic al dispozitivului TV este interacțiunea cu mediul înconjurător prin intermediul conceptului de Internet al Obiectelor – IoT (*Internet of Things*) bazat pe paradigma obiectelor eterogene care colectează, în mod continuu, informații din mediul înconjurător și care pot interacționa direct, sau prin intermediul utilizatorului, cu datele și conținutul multimedial. Sinergia dintre aceste două domenii, aparent divergente, devine un punct cheie în asigurarea unei experiențe complet personalizate, raportată la un profil dinamic al consumatorului construit pe baza datelor obținute de la obiectele inteligente conectate la dispozitivul TV.

Achiziția de date de la rețelele de senzori distribuiți în teritoriu și comunicațiile mașină-la-mașină (M2M), cu implicarea și a noțiunii de IoT, înseamnă schimbul automat sau la cerere de informații dintre dispozitive inteligente și controlul unităților aflate la distanță fără intervenție umană (sau cu intervenție limitată). Atâta timp cât aplicațiile ce implică M2M încep să se maturizeze într-o fază de creștere serioasă, încep să apară și multe noțiuni care descriu acest concept, de exemplu Obiecte Conectate, Managementul Dispozitivelor Inteligente, Internet Universal, Internetul Obiectelor și Internetul Tuturor Obiectelor (IoE – *Internet of Everything*). În această lucrare, am considerat conceptul de Internet al Obiectelor mai cuprinzător decât "Internetul Lucrurilor" – într-o *orientare pe obiecte* software-network-hardware, o sinergie populară acum câțiva ani în mecanisme de management al complexității și arhitecturi de apelare și mediere (brokeraj al obiectelor) precum CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*).

În viitorul apropiat, când totul va fi interconectat, necesitatea de a controla de la distanță și de a interoga toate lucrurile din jur va fi o adevărată provocare. În această perspectivă, se așteaptă ca legăturile la satelit să aibă o contribuție importantă în domeniu, mai ales în cazul sistemelor aflate în zone îndepărtate/inaccesibile sau unde nu există legături terestre (cablate sau radio).

Din câte se cunoaște, dezavantajele semnificative ale comunicației prin satelit sunt costul serviciului și cel al componentelor hardware utilizate și ridicate pe orbită. De asemenea, alte cerințe majore sunt eficiența alimentării cu energie, precum și interoperabilitatea. Drept urmare, acum există oportunitatea de a crește în mod considerabil comunicațiile M2M prin satelit cu ajutorul noilor dezvoltări hardware cu un cost redus și datorită gradului mai mare de standardizare. Această dezvoltare a hardware-ului, împreună cu eforturile de standardizare, au un potențial considerabil în ceea ce privește creșterea interoperabilității, iar prin intermediul acesteia, a competitivității sistemelor de tip M2M și IoT via satelit.

În plus, odată cu proliferarea rețelelor de micro-sateți de tip LEO (*Low Earth Orbit*), expansiunea și asigurarea conectivității la nivel global devin posibile inclusiv pentru aplicații sensibile la întârzieri și comunicații "ciber-critice" ("*cyber-critical communications*").

Prin convergența televiziunii digitale (terestră, satelitară și IP), a serviciilor de streaming și a conceptului IoT, plaja de servicii ce poate fi oferită devine aproape nelimitată: de la portaluri IoT capabile să transmită date peste legături satelit utilizând protocoale specifice televiziunii (DVB-S2X) prin dispozitive TV hibride ce acționează ca servere multimedia locale și până la micro-servicii de personalizare în detaliu a experienței multimediale, la care se pot adăuga dispozitive din cele mai variate care pot extinde actuala percepție multimedială.

Oportunitatea tezei

Creșterea cererii precum și a consumului de conținut multimedial a determinat dezvoltarea de noi standarde, tehnologii și servicii de creare, procesare și livrare a acestuia. Metoda clasică, în speță televiziunea liniară, nu mai este capabilă să țină pasul cu cerințele din ce în ce mai mari din partea consumatorilor, având lacune considerabile în ceea ce privește conținutul în sine, configurabilitatea, precum și adaptarea la profilul consumatorului.

Furnizori noi precum *Netflix*, *YouTube* sau *HboGO* pun la dispoziție cantități imense de conținut interactiv și personalizabil furnizat prin intermediul legăturilor de bandă largă sub forma de servicii *over-the-top* (OTT), utilizând diferite tehnologii de streaming peste IP precum și o gamă largă de micro-servicii capabile să creeze o experiență interactivă net superioară, adaptată la nevoile consumatorului. Astfel, acești noi furnizori și aceste noi tipuri de servicii dețin o cotă semnificativă de piață, tendința fiind de creștere continuă. Dar, cu toate acestea, televiziunea clasică încă are un rol pregnant în viața cotidiană. Așadar acest domeniu prezintă un mare interes, mai ales din punct de vedere business, fapt care a determinat o schimbare radicală a sistemelor TV precum și a serviciilor oferite.

Pe de altă parte, în ultimul deceniu, am fost martorii unei revoluții în domeniul comunicațiilor, datorită proliferării rapide a senzorilor și a dispozitivelor mobile. Actuala generație de tehnologii de comunicații și rețele utilizează o varietate de resurse ce dețin capacități semnificative de detectare (*sensing*) extinzându-se dincolo de tradiționala legătura fizică între dispozitive către informații multi-modale din domeniul biologic, cognitiv, semantic sau al rețelelor de socializare. Această schimbare de paradigmă implică o sinergie între factorul uman, dispozitive mobile și mediul înconjurător și stă la baza conceptului denumit Internetul Obiectelor (IoT).

În curând, asigurarea unei infrastructuri standardizate, performante și capabile să deservească miliarde de dispozitive (obiecte) conectate va fi o adevărată provocare. Un prim pas în această direcție este acela de a conștientiza legăturile terestre nu vor mai fi suficiente, așadar legăturile prin satelit trebuie luate în considerare atât pentru a asigura cerințele de scalabilitate și o acoperire globală dar și pentru a degreva rețelele terestre de eventuale suprasolicități.

Portalurile prin satelit au devenit în ultimii ani mai accesibile, deschizând posibilitatea paradigmatelor IoT și "UbiComp" – calcul ubicuu (*Ubiquitous Computing*) pentru a deveni și mai prezente în

dezvoltarea actuală a noilor aplicații de telecomunicații. Cu toate acestea, echipamentul combinat și costurile de acces sunt încă prohibitive pentru implementarea la scară largă.

Din punct de vedere hardware, costurile unui portal prin satelit ar putea fi reduse substanțial folosind conceptul Radio Defined Software – SDR (*Software Defined Radio*). Dispozitivele SDR sunt platforme radio digitale implementate prin intermediul blocurilor software care rulează pe un sistem încorporat, oferind un grad ridicat de flexibilitate în operarea interfețelor fără fir (*wireless*), capabile să comute dinamic între mai multe tipuri de tehnologii de comunicații.

Aceste trei mari concepte, televiziune, servicii OTT și IoT, au evoluat independent până în momentul de față dar, ca urmare a progresului tehnologic atât la nivel hardware cât și software, încep să se între-pătrundă și să se completeze sinergic. Pe baza acestor considerente, tema generală a tezei se axează pe analiza, identificarea, definirea conceptuală/arhitecturală și implementarea de metode, mecanisme și soluții pentru extinderea și îmbunătățirea tehnologiilor de distribuție, procesare și consum ale fluxurilor digitale în rețelele de comunicații.

Obiectivele tezei

Prezenta teză urmărește extinderea tehnologiilor existente și identificarea de noi modele de distribuție, procesare și consum al fluxurilor digitale în rețelele de comunicații prin intermediul unei abordări bazate pe sinergia a trei mari concepte: televiziune, servicii OTT și IoT.

Unul dintre obiectivele principale este acela de a identifica și a analiza concepte din domenii precum streaming multimedia, servicii OTT sau IoT ce pot fi extinse și integrate interdependent în cadrul ecosistemului TV și viceversa. Conceptul central al acestui obiectiv este acela de integrare interdependentă. Exista deja o gamă vastă de tehnologii și servicii care, în trecut, erau disponibile doar pentru un anumit set de dispozitive (laptop, tabletă sau telefon inteligent – „*thin clients*”) care între timp au devenit disponibile și pe dispozitive TV (de exemplu: servicii OTT de tip video la cerere sau navigator Internet) dar și viceversa: canale TV *live* sau ghid electronic de programe puse la dispoziția clienților „*thin*”. Dar, marea sincopă este aceea că, în majoritatea cazurilor, nu există și, uneori, nici măcar nu este definită la nivel teoretic, interconectarea și/sau inter-relaționarea acestora.

Așadar printre cele mai importante aspecte ale acestui obiectiv se numără:

- creșterea accesului la conținut și îmbunătățirea calității serviciilor de streaming prin migrarea către protocoale adaptive și topologii de rețea de tip multicast;
- extinderea tehnologiilor de streaming adaptiv (conduse de client – “*client driven*”) prin introducerea de modele de management a lățimii de bandă asistate de server și rețea;
- identificarea de noi modele de convergență între domeniile anterior menționate (televiziune hibridă, servicii OTT peste legături satelit), analiza fezabilității și a impactului asupra calității serviciilor și a experienței utilizatorilor;
- dezvoltarea de prototipuri/demonstratoare și integrarea acestora cu tehnologiile și dispozitivele deja existente.

Un alt obiectiv are la bază tendința curentă de a conecta aproape orice la rețeaua web și necesitatea de a controla și cuantifica variabile specifice mediului înconjurător.

Paradigmele IoT (Internet of Things - Internetul Obiectelor) și "UbiComp" (calcul ubicuu) reprezintă factorii cheie în ceea ce privește dezvoltarea de sisteme/aplicații, aproape invizibil integrate în mediul înconjurător, capabile să măsoare, să deducă, să înțeleagă și să comunice orice indicator de mediu (din domeniul fizic) care prezintă interes pentru persoane, mediul business sau organizații. Deși, aparent, conceptul IoT și ecosistemul TV par a fi două medii necorelate, fiecare poate profita de pe urma celuilalt prin prisma tehnologiilor, a standardelor de comunicare și a serviciilor oferite. Principalele direcții de cercetare din cadrul acestui obiectiv sunt:

- identificarea și analiza potențialelor modele și mecanisme de convergență;
- definirea, implementarea și integrarea de noi servicii în cadrul dispozitivelor deja existente precum și analiza fezabilității și a impactului acestora, atât din punct de vedere al calității experienței (QoE) – pe partea de client – cât și din punct de vedere financiar (pe partea de furnizor);
- valorificarea potențialului dat de sinergia dintre cele două domenii (conceptul IoT și ecosistemul TV) prin dezvoltarea de soluții de unificare și augmentare a experienței utilizatorului și extinderea percepției multimediale.

Nu în ultimul rând, un alt obiectiv deosebit de important se axează pe extinderea comunicațiilor M2M și IoT mai ales în cazul sistemelor aflate în zone îndepărtate/inaccesibile sau unde nu există legături terestre (cablate sau radio) mizând pe legăturile satelit și pe protocoale specifice ecosistemului TV (DVB-S2, DVB-S2X etc.).

În cadrul acestui obiectiv, principalele direcții de cercetare constau în:

- analiza amănunțită a scenariilor de aplicare precum și a fezabilității, analiza și definirea necesităților atât pe partea terestră cât și pe partea de satelit;
- analiza scenariilor și a cerințelor pentru o platformă reconfigurabilă, cu un cost redus, multi-protocol, de tip SDR, capabilă să transfere date între rețele terestre și de satelit;
- proiectarea unui portal hibrid (terestru-satelit), bazat pe tehnologie SDR capabil să comunice cu aplicațiile M2M și IoT, folosind protocoale și standarde de transmisie specifice, atât pentru partea terestră cât și pentru partea de satelit.

Organizarea tezei

Teza este structurată în 7 capitole și o secțiune introductivă care detaliază tematica aleasă, premisele care au stat la baza acestei alegeri precum și obiectivele propuse pentru analiză și dezvoltare în cadrul activității de cercetare doctorală.

- *Capitolul 1* intitulat "Stadiul actual al cercetărilor în domeniu" prezintă o vedere de ansamblu asupra principalelor tendințe și tehnologii din domeniul televiziunii. Sunt prezentate atât mecanisme de furnizare a serviciilor TV în funcție de mediile de distribuție precum și noile servicii disponibile rezultate în urma sinergie dintre televiziunea clasică și serviciile de bandă largă.
- *Capitolul 2*, "Fluxuri multimedia în rețele de bandă largă" pune accent pe detalierea și analiza conceptului de streaming multimedia, impactul acestuia asupra mecanismelor de livrare și

a modelelor de consum de conținut multimedia. O parte importantă a acestui capitol o reprezintă conceptul de streaming adaptiv, modele de îmbunătățire a performanței și integrarea acestui concept în televiziunea clasică.

- *Capitolul 3* cu titlul "Soluții pentru televiziunea digitală de ultimă generație", abordează DTV din perspectiva soluțiilor software existente, a sistemele/dispozitivelor TV moderne și a mediilor și modelelor de distribuție.
- *Capitolul 4*, "Optimizarea distribuției de fluxuri în Cloud" evidențiază abordarea Cloud ca soluție eficientă, performantă, scalabilă și capabilă să asigure infrastructura necesară pentru a oferi consumatorilor finali o experiență interactivă, personalizată și fiabilă de consum al diferitelor tipuri de conținut pe o varietate de dispozitive indiferent de resursele computaționale disponibile și în diferite condiții de rețea.
- *Capitolul 5* având ca titlu "Comunicații mașină-mașină (M2M) terestre și prin satelit", prezintă avantajele și implicațiile pozitive în mediul economic și în cel social ale M2M/IoT. O secțiune importantă a acestui capitol prezintă rolul legăturilor satelitare în contextul M2M/IoT precum și cel al dispozitivelor de tip SDR ca portal hibrid de management, control și acces. În final este prezentată o soluție de conectivitate prin satelit pentru aplicațiile M2M/IoT/IoRT (*Internet of Remote Things*), implementată în cadrul unui dispozitiv SDR care acționează ca un portal între laturile terestre și cele prin satelit.
- *Capitolul 6* denumit "Convergența IoT-OTT-TV" prezintă o serie de mecanisme, servicii și soluții care mizează pe sinergia acestor trei domenii (IoT, OTT și TV) pentru a îmbunătăți considerabil experiența utilizatorului. Capitolul prezintă o soluție de unificare a experienței utilizatorului în mediul inteligent local cu sistemul TV ca element central de vizualizare, comandă și control. Soluția tratează pe larg aspecte legate de arhitectură, implementare și securitate raportate la toate entitățile participante: sistem TV HbbTV, portal IoT, dispozitive IoT, asistenți virtuali sau dispozitive de tip eHealth.
- *Capitolul 7*, "Concluzii generale, contribuții originale și dezvoltări viitoare" prezintă concluziile, contribuțiile originale și dezvoltările ulterioare ale subiectelor abordate în cadrul tezei precum și aspecte legate de validarea și diseminarea rezultatelor științifice în publicații, prezentări și proiecte de cercetare.
- Lista de referințe: 15 lucrări proprii; 161 de titluri de bibliografie și 44 de titluri de web-grafie.
- Anexe: Anexa 1: Lucrări reprezentative; Anexa 2: Rezumat (lb. română/lb. engleză)

Terminologia

Pe lângă Lista de Abrevieri, abundența de termeni englezești de specialitate care sunt pe cale să intre în limbajul nostru ingineresc (precum "streaming") ar fi justificat, poate și un Glosar (mai explicativ). Totuși, am optat, în general, pentru o paranteză (scrisă cu caractere italice) care dublează în engleză, in extenso, denumirea detaliată în română, la prima apariție în text. Chiar dacă unele astfel de denumiri apar în lista de abrevieri, am considerat că e util să fie bine încadrate - contextualizate.

Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor în domeniu

Tehnologia se află într-o continuă evoluție pe toate planurile: dispozitive, servicii, rețele și sisteme de distribuție și acces. Dispozitivele inteligente au devenit din ce în ce mai accesibile și mai puternice, ceea ce a condus la o creștere considerabilă a ponderii utilizatorilor mobili avansați și a cerințelor cu privire la lățimea de bandă necesară. Noile soluții cu eficiență spectrală ridicată (ex. DVB-S2/T2/C2) în rețele de difuzare (tip *broadcast*), atingerea și chiar depășirea vitezelor de transfer de ordin Gbps pe infrastructură cablată și fără fir (ex. IEEE 802.11ac) în rețelele de bandă largă și avansul tehnologiilor celulare (LTE, 5G) îmbunătățesc considerabil eficiența spectrală, asigură comunicații mai eficiente și permit deservirea unui număr mare de utilizatori.

1.1 Fluxurile multimedia

Prezența tot mai accentuată a dispozitivelor client cu un cost redus ce dețin capacități mixte de conexiune la rețele de comunicații de mare viteză (WiFi, LTE, 5G) și echipate cu module de creare/redare conținut multimedia (camere video de înaltă calitate, ecrane de dimensiuni variate cu rezoluție mare – 2K, 4K, 8K) și dezvoltarea rapidă și adoptarea rețelelor sociale ca parte integrantă a vieții cotidiene au permis utilizatorului obișnuit să consume, să genereze și să partajeze cu ușurință fluxuri multimedia cu un minimum de cunoștințe despre rețeaua de comunicații și protocoalele specifice (terestre – WiFi, 5G, DVB-C/T; satelitare – DVB-S/S2/S2X, S-MIM) sau despre procesele tehnologice de creare și distribuție a fluxurilor (codare/decodare, scalare, protocoale de streaming).

1.1.1 Streaming media

Conceptul de *streaming media* poate fi definit ca transmiterea și vizionarea de conținut media în timp real sau la cerere. Prin intermediul tehnologiilor de streaming, utilizatorii pot consuma media în timp ce conținutul este transmis către dispozitivul client, fără a fi nevoiți să aștepte descărcarea efectivă a acestuia.

1.1.2 Modele de distribuție bazate pe managementul calității serviciilor

Oferirea unei calități înalte utilizatorilor finali este imperativă pentru a asigura succesul continuu al acestor servicii [1], [2]. Astăzi, consumatorii sunt obișnuiți cu servicii care necesită resurse considerabile și cu o calitate mai bună de la ISP [3], [4]. Cu toate acestea, obținerea unei bune calități a experienței (QoE) este o sarcină provocatoare din mai multe perspective, cum ar fi:

- gamă vastă de dispozitive client / modele de acces,
- variația conținutului media, condiții diferite de transmisie / de rețea
- variații semnificative în ceea ce privește performanța rețelelor de distribuție a conținutului (CDN – *Content Distribution Networks*).

Cele mai frecvente mecanisme utilizate pentru îmbunătățirea QoE la nivelul utilizatorului se bazează fie pe optimizarea la nivel de rețea (de exemplu, alocarea resurselor de rețea bazate pe QoE și rutare QoE), fie pe streaming video adaptiv orientat de client [5] - [7].

În ciuda acestor eforturi, managementul QoE este încă o sarcină complexă din cauza mai multor factori [6], [8].

1.1.3 Tendințe și scenarii viitoare de utilizare

Industria de streaming a cunoscut o creștere impresionantă care a propulsat „transformarea digitală” atât în mediul consumatorilor casnici, cât și în mediul business, având în prim plan conținutul generat de utilizatori, comunicarea prin apeluri video și telemedicina.

Telemedicina își continuă creșterea rapidă

Adoptarea la nivel mondial a telemedicinii este, cu siguranță, unul dintre puținele efecte pozitive ale pandemiei. COVID-19 nu doar că a accelerat transformarea digitală în industria medicală, dar a ajutat și la normalizarea acesteia.

Tendințe legate de codare

Se așteaptă ca H.264 (*Advanced Video Compression*) să fie eliminat din lista de codec-uri utilizate la scară largă, în schimb, deși a fost dezvoltat având la baza predicții și modele de streaming învechite, acesta nu va dispărea totuși prea curând.

Adoptarea serviciilor OTT continuă să crească

Migrarea către OTT și conceptul de redare la cerere (*“content on demand”*) au revoluționat atât modul în care utilizatorii consumă conținut, cât și mecanismele de optimizare a profitabilității. Crearea unei platforme OTT este foarte costisitoare atât din punct de vedere tehnologic, cât și economic (de exemplu, AT&T are în plan să investească 4 miliarde dolari în HBO Max în următorii ani).

Securitatea

Securitatea, în general, este pusă la grea încercare în ultimii ani – furnizorii de tehnologie continuă să inoveze și să dezvolte noi modalități de a ajuta organizațiile să se protejeze împotriva amenințărilor de securitate online. Păstrarea în siguranță a datelor clienților are un grad de prioritate critic în peisajul digital, în particular în cazul serviciilor de streaming. Industria multi-media continuă să crească și din ce în ce mai mulți utilizatori se abonează la astfel de servicii. Protejarea datelor personale devine din ce în ce mai importantă, pe măsură ce scenariile de utilizare se diversifică, iar preocupările legate de confidențialitate continuă să crească.

1.2 TV digitală și paradigma OTT a conținutului independent de transportator

Televiziunea a devenit o platformă inteligentă capabilă să furnizeze orice tip conținut dorit de consumatori, inclusiv aplicații, conținut OTT (Over-The-Top - “conținut independent de transportator”) și conținut *live* (“în direct”) din lumea întreagă. Ca atare, operatorii de astăzi se confruntă cu o complexitate din ce în ce mai mare a problemelor de furnizare a serviciilor TV, a conținutului OTT și a terțelor aplicații, într-o experiență integrată, unică, accesibilă pe un număr tot mai mare de dispozitive ce încorporează variații ale tehnologiilor suportate și ale resurselor disponibile.

1.2.1 Modele clasice de distribuție și consum

Modelele clasice de distribuție constau din infrastructura hardware, standardele și protocoalele utilizate pentru transmiterea semnalului audio/video digital către utilizator. Transformarea digitală a revoluționat conceptul de televiziune, utilizând noi metode de difuzare optimizată a sunetului și a imaginii, îmbunătățind semnificativ calitatea acestora. Televiziunea digitală beneficiază de diverse tehnologii de acces: unde terestre (DTTV), cablu, satelit sau Internet.

1.2.2 Servicii OTT

În definirea paradigmei OTT, trebuie menționat, în primul rând, că termenul face referire la metodele și tehnologiile de furnizare a conținutului și serviciilor. În general, serviciile OTT se pot defini ca fiind livrate prin Internet de către un furnizor de servicii care nu este responsabil pentru transmiterea către utilizatorul final – utilizatorii accesează serviciile OTT prin intermediul "Internetului public".

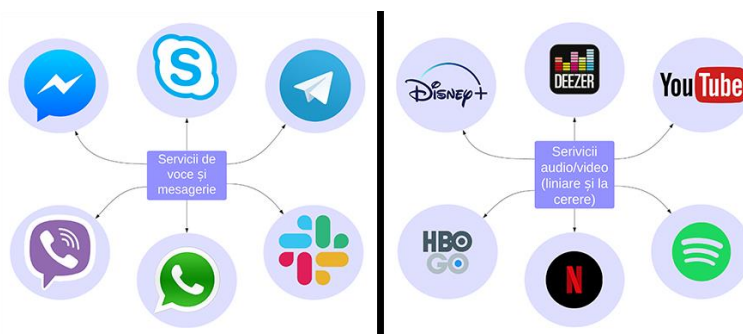


Figura 1 Servicii OTT

1.2.3 Sinergia TV-OTT

Ecosistemul TV rămâne un centru important de consum multimedia, fapt ce a determinat transformări structurale cuprinzătoare, unele finalizate, altele în curs de desfășurare. Pentru a realiza o integrare fezabilă și performantă a OTT și TV, este nevoie de un nivel de abstractizare care ar trebui:

- să funcționeze flexibil pentru a se adapta la preferințele unice ale fiecărui utilizator;
- să funcționeze independent de dispozitivul client;
- să aibe propriul mecanism de management și control, astfel încât operatorul să poată gestiona aplicațiile și serviciile OTT în timp real.

1.3 Internetul tuturor Obiectelor (IoE)

Internetul obiectelor (IoT) este o paradigmă relativ nouă, care câștigă rapid teren în contextul comunicațiilor fără fir moderne. Ideea de bază a acestui concept este prezența activă a unei game vaste de lucruri/obiecte (etichetele de identificare prin frecvență radio (RFID), telefoane inteligente, senzori, actuatori, etc.) care, prin mecanisme de adresare unice, sunt capabile să interacționeze între ele și să coopereze cu vecinii lor pentru a atinge obiective comune. În ceea ce privește IoE, în termeni simpli, acest concept reprezintă conexiunea inteligentă a oamenilor, a datelor, a proceselor și a obiectelor.

IoT reprezintă un ecosistem în care miliarde de entități dispun de senzori pentru a detecta, măsura și evalua starea lor și de o conexiune la rețele publice sau private utilizând o serie de protocoale specifice (deschise și proprietare).

1.3.1 Provocări tehnologice în Internetul obiectelor (IoT)

Internetul obiectelor (IoT) reprezintă o colecție de obiecte hardware ("lucruri") sau software (în sensul programării orientate pe obiecte) încorporate în echipamente, senzori și arhitecturi de acces, care permit colectarea, procesarea și partajarea datelor în diverse domenii și sub diverse forme (cu sau, mai ales, fără intervenția omului, comunicând nemijlocit în Internet).

IoT asigură mecanismele necesare obiectelor pentru a fi accesate și controlate de la distanță, transversal, utilizând infrastructuri existente.

Din punct de vedere tehnic și privite din unghiuri diferite, provocările specifice IoT cu care se confruntă această epocă sunt numeroase, dar cele mai importante sunt: conectivitatea, securitatea, compatibilitatea, confidențialitatea, fluxurile de date, managementul datelor și consumul limitat de putere

1.3.2 Internetul Obiectelor Multimedia (IoMT)

Conținutul multimedia obținut din mediul fizic are caracteristici diferite comparativ cu datele scalare obținute de dispozitivele tipice IoT. Dispozitivele multimedia necesită resurse computaționale semnificativ mai mari pentru a procesa informațiile multimedia achiziționate. Mai mult decât atât, transmisia multimedia este o mare consumatoare de lățime de bandă în comparație cu traficul de date specific IoT. Introducerea obiectelor multimedia favorizează o gamă largă de aplicații, atât în domeniul comercial, cât și în cel militar, iar printre exemple se numără: sisteme multimedia în timp real de securitate/monitorizare în locuințe inteligente, pacienți monitorizați de la distanță prin intermediul serviciilor de tip telemedicină, multimedia în spitale inteligente, sisteme de supraveghere multimedia implementate în orașe inteligente, management al transportului optimizat cu ajutorul camerelor video inteligente sau monitorizarea multimedia la distanță a sistemelor ecologice. Cu toate acestea, augmentarea sistemelor IoT cu dispozitive și conținut multimedia nu este facilă și necesită introducerea unor noi funcționalități și actualizarea celor existente, conducând la un subset specializat al IoT denumit *Internet of Multimedia Things* (IoMT).

1.3.3 Radio definit software în aplicațiile IoT

În viitorul apropiat, unde totul este conectat în rețeaua web, necesitatea de a controla de la distanță și de a interoga toate lucrurile din jur va fi o adevărată provocare. În această perspectivă, se așteaptă ca legăturile la satelit să aibă o contribuție importantă în domeniu, mai ales în cazul sistemelor aflate în zone îndepărtate/inaccesibile sau unde nu există legături terestre, cablate sau radio.

Una dintre provocările așteptate ale IoT este implementarea la nivel global a trilioane de dispozitive inteligente care vor necesita o infrastructură de comunicații scalabilă și capabilă să ofere acoperire la nivel mondial.

Comunicațiile M2M/IoT bazate pe legături prin satelit reprezintă o mare oportunitate pentru acest segment. Un raport global cuprinzător pe această temă afirmă că piața serviciilor M2M prin satelit este estimată să atingă 1,7 miliarde de dolari până în 2017 [W-4].

Utilizarea metodologiilor de dezvoltare a SDR (*Software Defined Radio*) pentru implementarea diferitelor tipuri de protocoale de comunicare fără fir este un subiect care a fost abordat de diverși cercetători. Cu toate acestea, nu a fost prezentat încă un cadru arhitectural și de proiectare care să definească orientările pentru integrarea capacităților SDR în rețelele IoT.

1.4 Convergența conținutului și a tehnologiilor

În ultimii ani, odată cu adoptarea conceptului „de ecran secundar” (*second screen*) și cu abundența consumului de conținut în timp real prin intermediul canalelor sociale, mediul de difuzare (broadcast) a suferit o transformare majoră.

Operatorii globali au început să ofere o gamă complexă de servicii la domiciliul clientului, permițând utilizatorilor să consume și se bucure de noi experiențe oferite de tehnologii precum IPTV, 3DTV, HbbTV și de servicii oferite de furnizorii de conținut over-the-top (OTT). Odată cu apariția a accesului direct la fibra optică (Fiber to the X - FTTX), cât și a rețelelor 5G, consumatorii dispun de viteze de rețea semnificativ mai mari.

1.4.1 Perspectiva Cloud

Pentru a susține televiziunea prin rețelele de bandă largă, operatorii încep să migreze operațiunile lor într-un mediu mai flexibil și mai agil: Cloud. Migrarea TV în Cloud presupune a transfera multe dintre funcțiile care sunt în prezent oferite de hardware dedicat și de software local către medii de procesare și stocare distribuite.

1.4.2 Servicii OTT-TV în Cloud

Printre cele mai importante implicații ale conceptului de Cloud în serviciile OTT-TV se numără: furnizarea de servicii bazate pe abonament, trans-codarea, codarea, automatizarea difuzării, pachetizarea fluxurilor, distribuția fluxurilor între parteneri și stocarea și arhivarea.

1.4.3 Sinergia IoT - TV

Inter-conectarea dispozitivelor TV, a calculatoarelor personale, a dispozitivelor de înregistrare video digitale și a altor dispozitive electronice în rețeaua locală permit consumatorului să se bucure de o experiență fluidă, unificată, sincronizată și personalizată. Consumatorii pot să se bucure de divertisment în rețea prin experiențe video de tip multi-cameră (*multi room*) sau prin intermediul serviciilor oferite de către furnizorii *PayTV*, operatorii de cablu/satelit sau furnizorii de servicii de telecomunicații din întreaga lume. Noi servicii precum videoconferința sau prezența virtuală sunt, în cele din urmă, integrate dinamic în rețeaua locală a consumatorului.

Noile tehnologii permit controlul și monitorizarea oricărui factor din mediile rezidențiale: controlul utilităților de iluminat, încălzirea, ventilația și sistemul de climatizare (încălzire, ventilație și aer condiționat - HVAC), ferestrele automate, accesul de la distanță în locuință precum și managementul sistemelor de divertisment, cum ar fi dispozitivele TV, sistemele audio sau dispozitivele digitale de înregistrare audio/video.

1.5 Sumarul capitolului

Capitolul prezintă o vedere de ansamblu asupra principalelor tehnologii, arhitecturi și tendințe din cadrul domeniilor care reprezintă pilonii de bază ale acestei teze de doctorat: fluxurile multimedia, televiziunea digitală și Internetul tuturor Obiectelor (IoE). Pentru fiecare domeniu, sunt analizate și prezentate caracteristicile generale, modelele și mecanismele de distribuție și consum, principalele limitări și provocări, precum și aspectele cheie cu privire la tendințe și scenarii de utilizare.

Prima secțiune face referire la caracteristicile fluxurilor multimedia ca parte integrantă a vieții cotidiene, la modele de distribuție și consum, precum și la factorii care influențează QoE și QoS.

Tendințele și scenariile viitoare de utilizare din cadrul acestui domeniu denotă clar faptul că sinergia și convergența au rol important, atât în ceea ce privește îmbunătățirea și/sau revitalizarea tehnologiilor deja existente, cât și în dezvoltarea viitoarelor generații de servicii, dispozitive și infrastructuri. A doua secțiune prezintă o vedere de ansamblu asupra televiziunii digitale cu avantajele și restricțiile aferente și delimitează televiziunea și serviciile conexe clasice de noua generație de tehnologii de dezvoltare, medii de distribuție și modele de consum aplicabile în era utilizatorului mereu conectat. În cea de-a treia secțiune este prezentat conceptul de internet al tuturor lucrurilor (IoE), o paradigmă nouă, care câștigă rapid teren în scenariul telecomunicațiilor fără fir moderne. Acest concept are implicații majore în automatizarea schimbului de informații între dispozitivele inteligente și/sau controlul unităților aflate la distanță cu intervenție umană limitată. Ultima secțiune prezintă strategii, mecanisme, modele și arhitecturi de unificare traversând întreaga stivă OSI, de la nivelul fizic până la nivelul aplicație. Aceste sinergii și convergențe între domenii aparent necorelate au un impact semnificativ în încercarea de a rezolva mare parte dintre problemele cu care se confruntă mediul academic, industria ICT (*Information and Communication Technologies*) și utilizatorii finali.

Capitolul 2. Fluxuri multimedia în rețele de bandă largă

Distribuția fluxurilor multimedia prin rețele bandă largă face posibilă furnizarea de conținut digital (filme, seriale, reclame, știri, muzică sau imagini) prin Internet către milioane de consumatori. Acest fapt are un impact major atât din perspectiva accesului la conținut multimedia pentru publicul larg cât și din perspectiva diversificării conținutului multimedia propriu-zis – oricine putând crea și publica astfel de conținut. Un alt aspect important al fluxurilor multimedia, din punct de vedere al mediului business, este acela că au deschis calea către noi servicii ce pot fi furnizate și monetizate selectiv, la diferite granularități.

Generic, există trei moduri prin care conținutul multimedia este livrat către consumator: modul download, modul download progresiv și modul streaming

2.1 Streaming multimedia

Serviciile de streaming multimedia reprezintă unul dintre cele mai eficiente mecanisme de livrare de conținut audio video digital către consumatori și, datorită spectrului larg de aplicabilitate, prezintă un interes sporit, atât în mediul business cât și în mediul privat.

Conceptul de streaming media impune cerințe stricte în ceea ce privește lățimea de bandă disponibilă, întârzierile maxime admise precum și rata de pachete pierdute. Un alt factor important care trebuie luat în considerare îl reprezintă lățimea de bandă disponibilă. Conținutul multimedia trebuie să fie comprimat astfel încât să nu depășească viteza de transfer maximă a dispozitivului client.

2.1.1 Sisteme de streaming multimedia – arhitectură și caracteristici

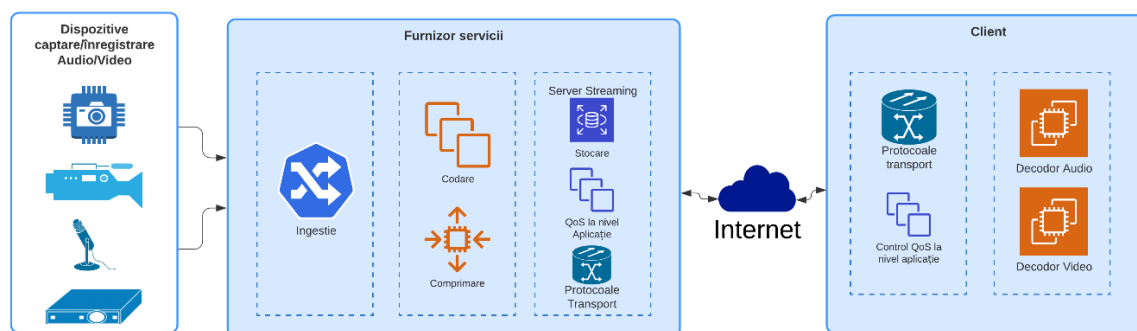


Figura 2 Arhitectură generică media streaming

Figura 6 prezintă o vedere de ansamblu asupra unei arhitecturi de media streaming formată din patru componente principale:

- comprimarea și codarea media
- serverele de streaming
- rețeaua de transport
- dispozitive consumator

2.1.2 Protocoale de streaming

Procesul de streaming implică utilizarea de protocoale multiple care acționează la diferite niveluri ale modelului de referință OSI (*Open Systems Interconnection*). Nivelurile inferioare (fizice, conexiuni de date și rețea) sunt, în general, preluate ca atare de la rețelele de calculatoare. În ceea ce privește abordarea generală, există două categorii generale de protocoale de streaming: adaptive și non-adaptive.

2.1.3 Familia RTP (Real-time Transport Protocol)

RTSP (Real Time Streaming Protocol), RTP (Real-time Transport Protocol) și RTCP (Real Time Control Protocol) reprezintă o familie de protocoale special create pentru a oferi suport pentru streaming. RTSP este un protocol la nivel de aplicație care poate rula peste orice tip de protocoale de transport, în schimb RTP și RTCP au fost dezvoltate având la baza protocolul UDP.

2.1.4 Protocoale adaptive

Tehnologiile adaptive de streaming codează un flux (în timp real sau la cerere) într-o serie de fluxuri cu rate de biți diferite, pe care le transmit, adaptiv, în funcție de condițiile de rețea și de alți factori, către consumator. Atunci când sunt condiții optime, consumatorul primește un flux de înaltă calitate (cu rată de biți ridicată) dar dacă viteza conexiunii scade, se va transmite un flux cu o rată mai mică pentru a asigura o conexiune continuă dar la o calitate scăzută.

Transmisia adaptivă oferă cel mai bun raport calitate-disponibilitate în raport cu viteza de conectare, performanțele dispozitivului client și caracteristicile rețelei: flux de calitate superioară pentru clienții cu viteză de conectare și resurse suficiente pentru redarea acestora și un flux de calitate standard sau redusă accesibil pentru utilizatorii cu o conexiune lentă pe dispozitive cu resurse de procesare și stocare reduse.

Printre cele mai importante protocoale de streaming adaptiv se numără: HTTP Dynamic Streaming (HDS), HTTP Live Streaming (HLS) și Dynamic Adaptive Streaming peste HTTP (DASH)

2.2 Streaming adaptiv asistat de server și rețea

Folosind comunicarea peste HTTP, DASH oferă câteva avantaje fundamentale față de alte tehnologii de streaming, cum ar fi: trecere transparentă prin mecanisme de tip *firewall*, conținut stocat pe servere HTTP obișnuite sau scalabilitate ridicată. Cel mai important avantaj este acela că un client DASH selectează segmente având calitatea și mărimea corelate cu lățimea de bandă disponibilă.

Server & Network Assisted DASH (SAND) introduce schimbul de mesaje între clienții DASH și elemente de rețea cu scopul de a îmbunătăți eficiența sesiunilor de streaming prin furnizarea de informații în timp real despre caracteristicile operaționale ale rețelelor, serverelor, ale elementelor de tip proxy, ale memoriilor cache, precum și despre performanța și starea clientului DASH.

2.2.1 Arhitectura și schimbul de mesaje în tehnologia SAND

Motivarea SAND (*Server and Network Assisted DASH*) a fost de a aduce capabilități suplimentare elementelor de rețea prezente într-o infrastructură DASH, asigurând în același timp faptul că atât elementele de rețea SAND, cât și elementele de rețea DASH obișnuite pot funcționa împreună în cadrul aceleiași infrastructuri DASH.

Ca urmare, arhitectura SAND a fost definită ca o augmentare a arhitecturii DASH obișnuite, datorită adăugării unui canal de comunicare SAND care permite elementelor activate (clienți DASH, servere DASH sau orice alt element de rețea prezent în infrastructura DASH) să schimbe mesaje de tip SAND între ele.

2.2.2 Optimizare orientată pe aplicație

Optimizarea pe aplicație presupune o abordare client/server orientată spre aplicație pentru optimizarea conceptului de streaming media cu un protocol de comunicare bazat pe SAND în care serverul oferă servicii precum: raportare metrică, coordonare și servicii externe de algoritm pentru client. O astfel de arhitectură a fost dezvoltată de Fraunhofer FOKUS, TARA Systems GmbH, Mindware Solutions și Technische Universität Berlin în cadrul proiectului ANOPAS [W-10].

2.2.3 Arhitectură Client-Server

Pe partea de server, arhitectura ANOPAS definește un API pentru serviciile care vor fi apelate de către clientul de streaming. Acest API este realizat de *ExternalServiceModule*.

Fiecare serviciu accesibil prin *ExternalServiceModule* poate utiliza una sau ambele componente funcționale definite mai jos:

- Modulul de algoritmi: rulează algoritmi de adaptare furnizați de server. Algoritmi specifici pot fi accesați de clientul ANOPAS accesând *service endpoint*. În plus, algoritmi pot folosi mai mulți sub-algoritmi selectați dinamic.
- Modulul de stocare metric: este punctul central în care sunt stocate toate valorile primite. Fiecare intrare este asociată cu ID-ul clientului, care este unic pentru fiecare sesiune de streaming.

2.3 Soluție pentru managementul lățimii de bandă

Soluții pentru asigurarea celei mai bune QoE ținând cont de restricțiile privind lățimea de bandă au fost deja dezvoltate, cu accent pe serviciile de streaming DASH. SAND - inițiativa MPEG - a pornit de la premisa că nu este eficient ca decizia cu privire la calitatea fluxului să fie lăsată doar la latitudinea clientului DASH și prin urmare definește un canal de comunicare între clienții DASH și serverele de servicii care pot îmbunătăți calitatea sesiunii de streaming. Cu toate acestea, majoritatea abordărilor se concentrează pe performanță și nu iau în calcul și mecanisme de reducere a lățimii de bandă utilizate.

Scopul acestei soluții este de a furniza o infrastructură complet automatizată capabilă să urmărească și să monitorizeze poziția utilizatorului și, bazându-se pe această informație, să decidă dacă utilizarea lățimii de bandă a unui serviciu activ de streaming poate fi diminuată prin reducerea calității fluxului sau chiar prin oprirea temporară a serviciului în cazul în care utilizatorul părăsește incinta, cu efecte secundare puține sau inexistente în ceea ce privește aspectele QoE.

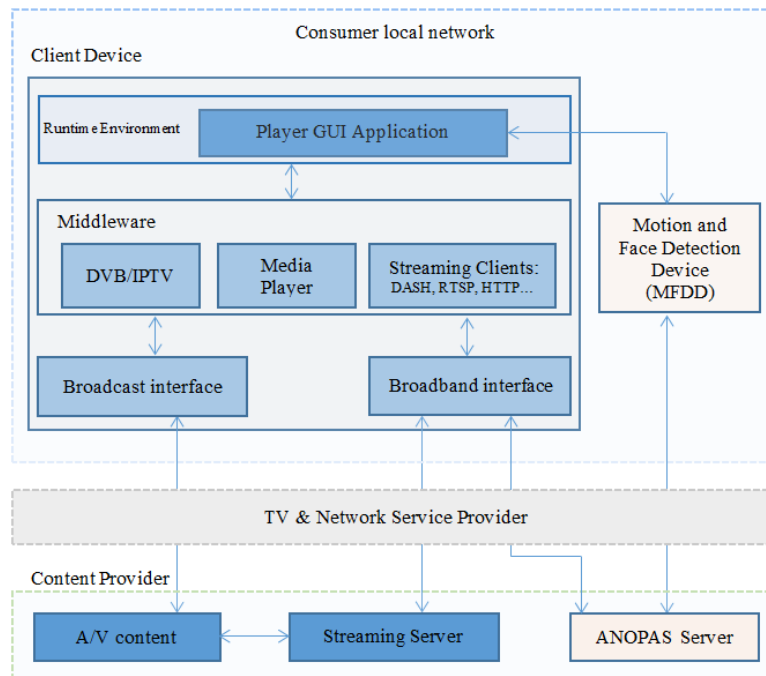


Figura 3 Arhitectura generică a soluției

Soluția propusă definește entitățile funcționale, precum și interfețele de comunicare dintre ele pentru a reduce utilizarea lățimii de bandă. Principalele componente funcționale sunt prezentate în Figura 3. Dispozitivul client este conectat cu un bloc nou - dispozitiv de detectare a mișcării și detectare a feței (MFDD) - prin intermediul rețelei locale. Ambele blocuri au o conexiune cu furnizorul de servicii unde se află conținutul A/V care urmează a fi transmis prin intermediul serverului de streaming către client. Arhitectura ANOPAS, detaliată anterior, relaționează atât cu clientul cât și cu serverul.

2.3.1 Dispozitivul de monitorizare a mișcării și detectare facială

Dispozitivul de monitorizare a mișcării și detectare facială (MFDD) este un dispozitiv extern conectat la rețeaua locală (înregistrat în aceeași rețea locală cu dispozitivul client). MFDD poate determina poziția/locația utilizatorului folosind camera (camerele) de captare video și, în plus, dar nu și obligatoriu, senzori de mișcare și raportează această informație prin intermediul unui API de tip REST (către serverul ANOPAS) și printr-o conexiune WebSocket – WS (către dispozitivul client).

Dacă se pornește un serviciu de streaming DASH, dispozitivul client raportează acest lucru către MFDD împreună cu adresa URL a serverului ANOPAS. În acest caz, MFDD rulează și serviciul de detectare a feței și raportează informațiile către serverul ANOPAS prin intermediul cererilor HTTP POST.

2.3.2 Dispozitivul client

Pe lângă faptul că este componenta prin intermediul căreia utilizatorul accesează serviciile de streaming, dispozitivul client este responsabil pentru întreruperea și reluarea redării în funcție de informațiile primite de la MFDD.

Soluția nu impune un anumit mecanism de descoperire, lăsând implementarea deschisă pentru furnizorii de conținut și/sau de dispozitive client. Cu toate acestea, dacă această colaborare nu este posibilă, poate fi utilizat un mecanism simplu bazat pe API-ul WebRTC și un port predefinit WS Server MFDD.

2.3.3 Testare și validare

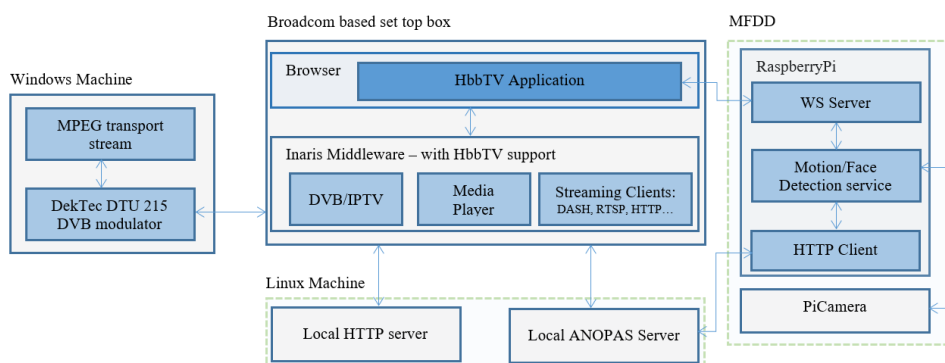


Figura 4 Implementarea locală a arhitecturii propuse

Soluția propusă a fost implementată în cadrul unei rețele locale, în conformitate cu schema prezentată în Figura 4. Pentru a testa și valida soluția propusă, au fost efectuate teste semi-automate pentru a verifica durata de timp între momentul în care utilizatorul nu mai este orientat către ecran sau părăsește incinta și momentul în care se modifică calitatea fluxului A/V sau serviciul de streaming este întrerupt temporar sau reluat. Au fost efectuate măsurători cu privire la calitatea fluxului A/V și la timpii de schimbare a stărilor de redare (redare/pauză) în diferite etape ale procesului de schimbare a calității, pentru a determina efectul modificărilor asupra QoE utilizator.

Testele semi-automate efectuate au demonstrat că soluția propusă reduce utilizarea lățimii de bandă cu mici efecte secundare asupra QoE. S-au efectuat măsurători cu privire la calitate și timpii necesari pentru tranziție în diferite etape ale procesului de schimbare a calității. Acest lucru a oferit o imagine clară a factorilor cheie care influențează performanța generală: precizia algoritmilor de mișcare și de detectare a feței, timpul necesar MFDD pentru a detecta și semnaliza o schimbare de stare a utilizatorului și dimensiunea segmentului fluxului DASH.

Deși rezultatele obținute se află în limite tolerabile (există într-adevăr o influență negativă asupra QoE, cu toate acestea nu este suficient de mare pentru a face ca soluția să fie neviabilă), trebuie aduse îmbunătățiri suplimentare pentru a crește precizia MFDD și timpul de răspuns.

2.4 Soluție automată pentru testarea și dimensionarea platformelor de streaming OTT

Sistemul automat de testare realizat [CG-8] are o complexitate direct proporțională cu nivelul de complexitate al soluției OTT. Arhitectura propusă pune accent atât pe dispozitivul client cât și pe celelalte entități implicate: server web, server de streaming și rețeaua de bandă largă. Scopul principal al soluției este de a oferi un mecanism fiabil și ușor de integrat, capabil să execute teste de funcționalitate, teste cap-la-cap ("end-to-end") și teste de stres prin controlul și monitorizarea componentelor soluției OTT. Un aspect important este acela că totul rulează într-un ecosistem local, izolat de mediul exterior dar capabil să simuleze mediul real de funcționare a aplicației.

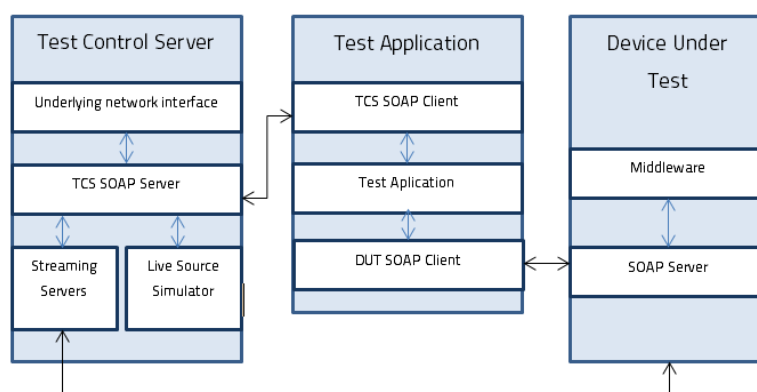


Figura 5 Arhitectura sistemului de testare și modul de conectare la soluția OTT

Arhitectura sistemului automat de testare este prezentată în Figura 5. Cu o abordare modulară, fiecare componentă asigură un set bine definit de funcționalități.

Comunicația între componente se bazează pe IP, astfel, dependența de alte dispozitive externe (de exemplu emițătoarele infraroșu pentru controlul sistemelor TV) este eliminată.

Componenta de bază a sistemului este aplicația de testare (Test Application) - unitatea centrală de unde sunt controlate și monitorizate toate componentele sistemului de test. Sarcinile sale principale sunt:

- definirea scenariilor de test
- generarea de rapoarte cu privire la rezultatele obținute în urma execuției testelor
- asigurarea bunei funcționări a sistemului de testare

Conexiunea cu celelalte componente (TCS – *Test Control Server* și DUT – *Device Under Test*) este asigurată de doi clienți SOAP (*Simple Object Access Protocol*). Astfel, aplicația de testare poate controla serverele de streaming și poate altera proprietățile interfeței de rețea (adăugare latență, procent de pierdere pachete, jitter etc.)

2.4.1 Serverul de control al platformei de testare

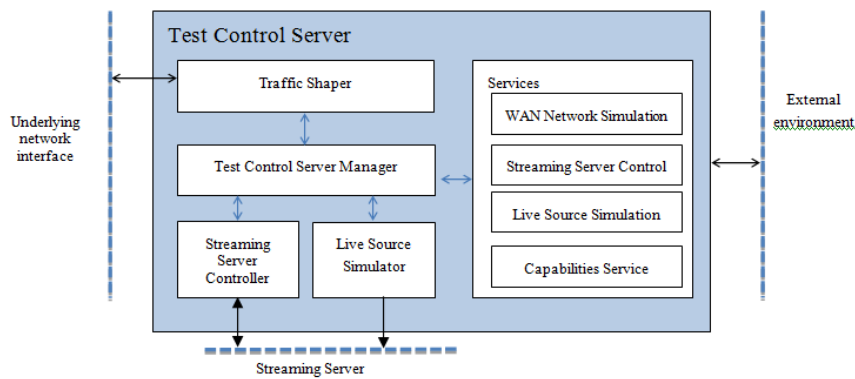


Figura 6 Arhitectura Test Control Server

Test Control Server este o componenta cu rol de manager al serverelor de streaming. Acesta asigură conexiunea cu mediul exterior și pune la dispoziție următoarele funcționalități:

- anunțarea capacităților în rețeaua locală
- simularea surselor de conținut audio/video în timp real
- controlul și monitorizarea serverelor de streaming
- modificarea parametrilor interfeței de rețea a mașinii gazdă (simulare diverse scenarii WAN într-un mediu LAN)

Traffic Shaper are capacitatea de a modifica parametrii interfeței de rețea, asigurând astfel, o caracteristică importantă a soluției și anume simularea caracteristicilor unei rețele WAN într-un mediu local. Cele mai importante proprietăți ale interfeței de rețea pe care această componentă le poate manipula sunt: coruperea procentuală a pachetelor, întârzierea pachetelor, *jitter*, limitarea benzii disponibile, reordonarea pachetelor, pierderi de pachete sau duplicarea pachetelor.

Serverele de streaming rulează pe aceeași platformă cu *Traffic Shaper*, astfel, pentru a simula caracteristicile unei rețele WAN pe care o tranzitează traficul generat de aceste servere (într-un mediu real), este suficient să se altereze traficul prin interfața ethernet.

2.4.2 Dispozitiv client și aplicația de testare

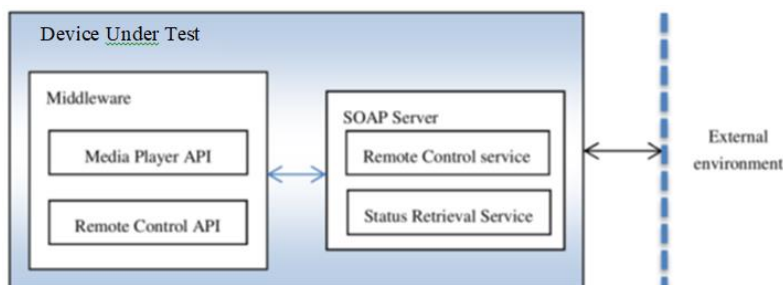


Fig. 19. Arhitectura software a dispozitivului testat

Dispozitivul client supus testării (DUT) dispune serviciile **DUT SOAP Server** care reprezintă puntea de legătură cu aplicația de testare. Cele mai importante funcționalități asigurate de această componentă sunt controlul de la distanță și raportarea stării dispozitivului.

În funcție de dispozitivul de testare și a API-ului disponibil, acești parametri sunt preluați fie din componenta *middleware* a DUT, fie prin monitorizarea stărilor de redare.

2.4.3 Rezultate experimentale

Arhitectura, comportamentul și performanța unei soluții de streaming cap-la-cap ("end-to-end") are un impact semnificativ asupra experienței utilizatorului. Asigurarea unei experiențe de vizualizare fluide și a funcționalității corecte necesită o testare intensivă și o dimensionare corespunzătoare. Echipamentul hardware utilizat constă din:

- o mașină Linux care conține servere de streaming, *Test Control Server* și un server HTTP Apache,
- un set-top-box compatibil HbbTV,
- o mașină Windows pe care se află aplicația de testare HbbTV.

Suita de testare a fost definită pentru a reproduce un scenariu din lumea reală, în care utilizatorul final pornește aplicația HbbTV, navighează prin meniul său și accesează serviciile de streaming live și video la cerere.

Printre scenariile ce pot fi testate cu soluția propusă sunt: performanța serviciilor de streaming în timp real în funcție de formatul video și protocolul utilizat, performanța serviciilor de streaming video la cerere în funcție de protocolul utilizat sau rata medie de cadre în funcție de tipul de serviciu și protocol.

2.5 Sumarul capitolului

În cadrul acestui capitol am evidențiat principalul și poate cel mai important mecanism de distribuție a fluxurilor multimedia în rețelele de bandă largă, în speță conceptul de streaming multimedia.

Secțiunea a treia introduce o nouă paradigmă în conceptul de streaming și anume *streaming adaptiv asistat de server și rețea* care implică activ elemente de rețea și server în procesul de streaming cu scopul de a îmbunătăți eficiența sesiunilor prin furnizarea de informații despre caracteristicile operaționale.

Ultima parte a capitolului se axează pe soluții de dimensionare a platformelor de streaming precum și pe managementul lățimii de bandă. Prima soluție propusă abordează managementul lățimii de bandă în "rețeaua gestionată" locală. Caracteristica cea mai importantă este că acesta poate lua, în mod automat, decizii de reducere a calității serviciilor de streaming sau de oprire temporară a redării, în funcție de comportamentul utilizatorului. Cealaltă soluție propune un ecosistem local automatizat pentru testarea și dimensionarea platformelor de streaming OTT și oferă un mecanism viabil și ușor de integrat, capabil să execute o gamă variată de teste controlând și monitorizând toate componentele unei soluții OTT.

Capitolul 3. Soluții pentru televiziunea digitală de ultimă generație

Evoluția tehnologiei din ultimele decenii a avut un impact major asupra sistemelor TV. Un prim pas important în evoluția sistemelor TV a fost tranziția de la televiziunea analogică la cea digitală (DTV), care a deschis un nou orizont cu privire la serviciile ce pot fi oferite. Această migrare a făcut posibilă combinarea a două concepte până acum mutual exclusive, respectiv conceptul de difuzare specific televiziunii și conceptul de bandă largă specific Internetului.

Datorită fuziunii serviciilor TV liniare și a serviciilor video la cerere (IP), a actualizării infrastructurii de distribuție, a rețelelor fără fir și a convergenței serviciilor, dispozitivele conectate capătă un potențial net superior.

3.1 Middleware DVB/IPTV modular – independența de platformă

În televiziunea digitală și sistemele TV (televizor, set top box – STB), "*middleware*" reprezintă un strat software situat între sistemul de operare clasic (software care oferă acces la resurse și dispozitive) și aplicații [51]. Ca orice componentă software, fiecare middleware este caracterizat de un set de funcții predefinite, disponibile pentru fiecare aplicație cunoscute sub numele de API (*Application Programming Interface*).

Sarcina acestor interfețe este de a abstractiza componente precum sistemele de operare sau componentele hardware, asigurând astfel independența aplicației de componentele specifice fiecărei platforme în parte.

3.1.1 Aplicații TV digitale

Aplicațiile specifice televiziunii digitale sunt echivalente cu programele software din domeniul PC. Întrucât termenul de "program" a fost deja rezervat pentru a se referi la conținutul TV, a fost adoptat un termen diferit („aplicație”) pentru a evita confuzia. Prin urmare, în contextul televiziunii digitale, termenul de *aplicație* înseamnă programele software interactive și independente care sunt executate într-un set-top-box sau, în general, într-un mediu de televiziune digitală care formează partea superioară a arhitecturii software.

Printre cele mai importante aplicații TV digitale se numără: ghidul electronic de programe (EPG), ghidul electronic de servicii (ESG) și navigatorul sau "lansatorul de aplicații".

3.1.2 Abordări publice și proprietare

Componenta middleware a fost dezvoltată pentru a permite utilizatorilor să acceseze aplicații interactive, cum ar fi EPG. Primele platforme TV interactive care utilizează standarde de transmisie DVB au fost oferite utilizând o abordare verticală [58]. De obicei, abordările verticale, presupun un singur operator (de obicei operatorul de rețea/difuzare) care controlează întregul lanț de livrare al serviciilor, cu variații în ceea ce privește specificațiile dispozitivelor, aplicațiile și componenta middleware care rulează pe acestea.

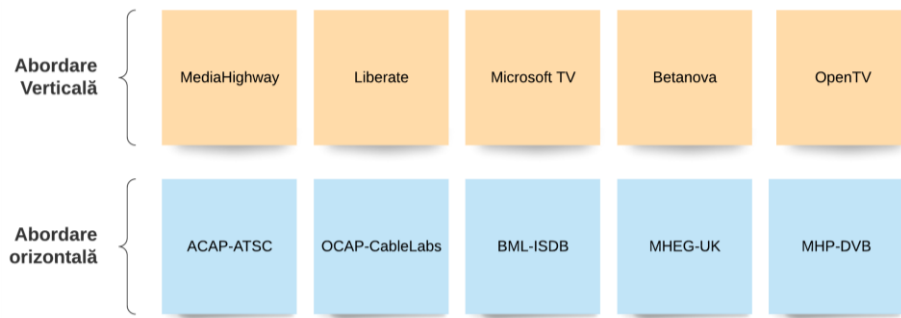


Figura 7 Soluții Middleware

Figura 7 ilustrează atât abordările verticale, cât și cele orizontale ale componentelor de tip middleware și standardele aferente.

3.1.3 Middleware DVB/IPTV Inaris

Inaris [W-14] este o soluție modulară pentru DVB/IPTV care poate fi utilizată în toate tipurile de dispozitive care acceptă funcționalități TV. Aceasta include caracteristici populare, cum ar fi PVR (*Personal Video Recording*), HbbTV, EPG, Teletext, Subtitrare sau SAT>IP.

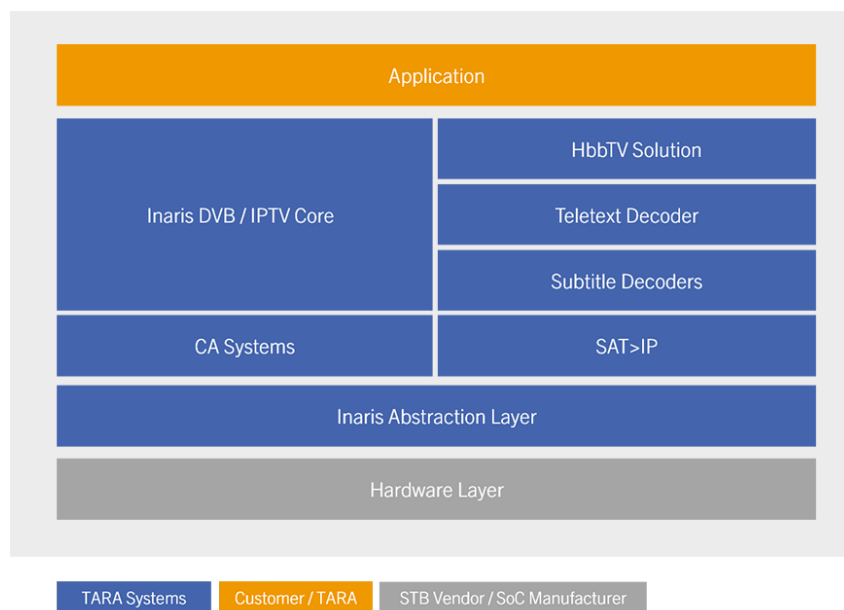


Figura 8 Arhitectura Inaris DVB/IPTV middleware [W-14]

3.2 Televiziune SAT>IP

SAT>IP (sau Sat-IP) definește un protocol de comunicație de tip client-server pentru redistribuirea semnalelor TV transmise prin rețeaua de difuzare (*broadcast*) peste o infrastructură IP. Inițial, acest protocol a fost dezvoltat de către operatorul de satelit SES pentru a oferi suport pentru translatarea semnalelor TV recepționare prin legătura satelit (DVB-S sau DVB-S2) dar ulterior a fost extins și pentru a oferi suport pentru legăturile terestre (de exemplu DVB-C).

3.2.1 Arhitectura generică

SAT>IP permite distribuirea semnalelor transmise prin rețele de difuzare (indiferent de mediu: satelit, prin cablu sau terestru) către clienți IP precum laptop, telefoane inteligente, tablete sau dispozitive set-top-box, fără a necesita implementarea unei rețele locale coaxiale sau dispozitive de tip tuner integrate în cadrul fiecărui dispozitiv.

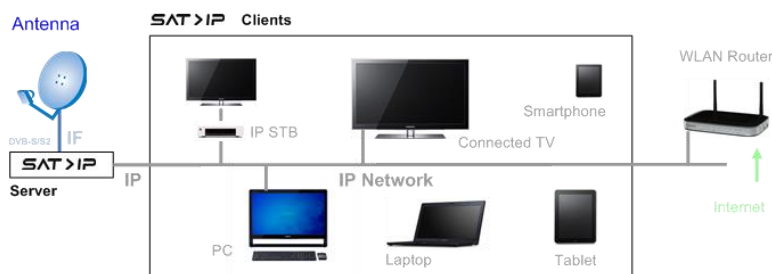


Figura 9 Arhitectură generică soluție SAT>IP

3.2.2 Protocolul SAT>IP

SAT>IP definește un protocol pentru virtualizarea componentelor și funcțiilor specifice unui dispozitiv TV clasic și are la bază, în mare parte, standarde deja existente și ajunse la maturitate: UPnP (*Universal Plug and Play*) pentru descoperire, adresare sau descriere capabilități în rețea, RTSP sau HTTP pentru controlul sesiunilor și RTP sau HTTP pentru transportul fluxurilor multimedia.

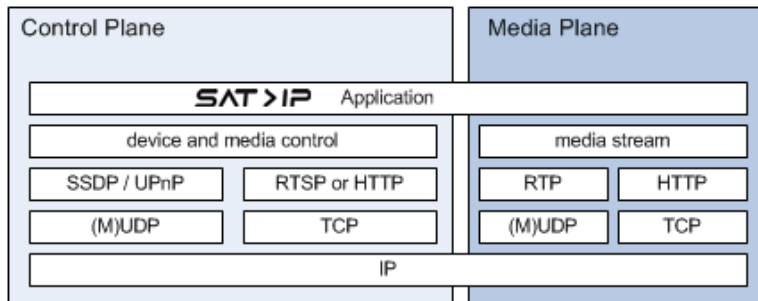


Figura 10 SAT>IP planurile media și de control

Protocolul SAT>IP este împărțit logic în două componente: planul media și planul de control (Figura 10).

3.2.3 Soluție de streaming pentru clienți mobili

SAT>IP este o tehnologie care face posibilă distribuirea televiziunii prin satelit către o serie de dispozitive IP, cum ar fi tablete, PC-uri și smartphones în medii locale.

Pentru a răspunde cerințelor consumatorilor, operatorul SES a decis să dezvolte o aplicație care să permită streamingul conținutului TV pe dispozitive mobile bazate pe tehnologia SAT>IP. HD+ este o platformă germană DTH (*Direct To Home*) HD, care oferă abonaților acces la un număr mare de canale în calitate HD.



Figura 11 HD+ ExtraScreen [W-17]

Toate aceste extensii au fost combinate în cadrul unei noi specificații numită HD+ ExtraScreen. O bună colaborare între părțile implicate a făcut posibilă realizarea HD+ ExtraScreen, care este elementul central al noii aplicații HD+ Connect.

3.3 Televiziune hibridă

Migrarea de la televiziunea analogică la cea digitală a făcut posibilă combinarea a două concepte până acum mutual exclusive, conceptul de difuzare specific televiziunii și conceptul de bandă largă specific Internetului. Acest lucru a reprezentat baza pentru introducerea și standardizarea unui nou concept în lumea DTV denumit HbbTV (*Hybrid broadcast broadband TV*).

În esență, HbbTV permite livrarea de conținut multimedia într-un ecosistem mixt oferindu-i consumatorului, prin intermediul unui singur dispozitiv, atât servicii DVB cât și servicii IP.

3.3.1 Arhitectura și principii de funcționare

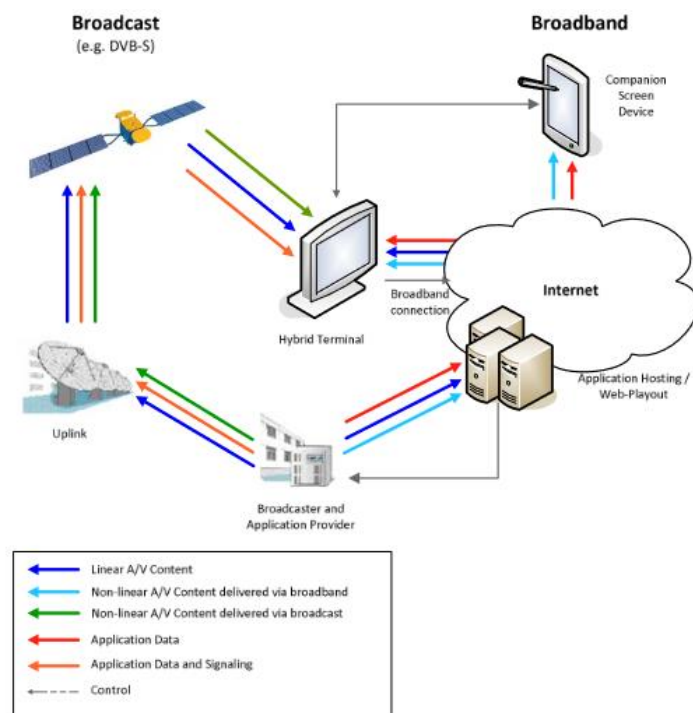


Figura 12 Arhitectura de baza a unui sistem HbbTV [62]

Figura 12 prezintă arhitectura de bază a unui sistem HbbTV. Un dispozitiv HbbTV dispune de două interfețe de rețea: cea de difuzare DVB-T, DVB-C sau DVB-S și cea de bandă largă. Prin intermediul rețelei de difuzare, dispozitivul primește conținut A/V liniar (difuzat), date de semnalizare și alte date referitoare la aplicații.

Prin interfața de bandă largă, dispozitivul HbbTV se conectează la Internet. Astfel, este asigurată o conexiune bidirecțională cu furnizorul de servicii (legătura de întoarcere de obicei lipsește în cazul rețelei de difuzare).

3.3.2 Soluții HbbTV pe platforme Linux

Inaris HbbTV, soluția dezvoltată de Tara Systems, oferă toate componentele software necesare aderării la standardul HbbTV ca o extensie a stivei software DVB/IPTV. Soluția HbbTV este disponibilă ca o extensie pentru propriul middleware DVB/IPTV Inaris sau pentru orice alt middleware DVB specific clientului.

Soluția dezvoltată este independentă de platformă și deci potrivită pentru integrarea pe orice tip de platformă TV sau STB.

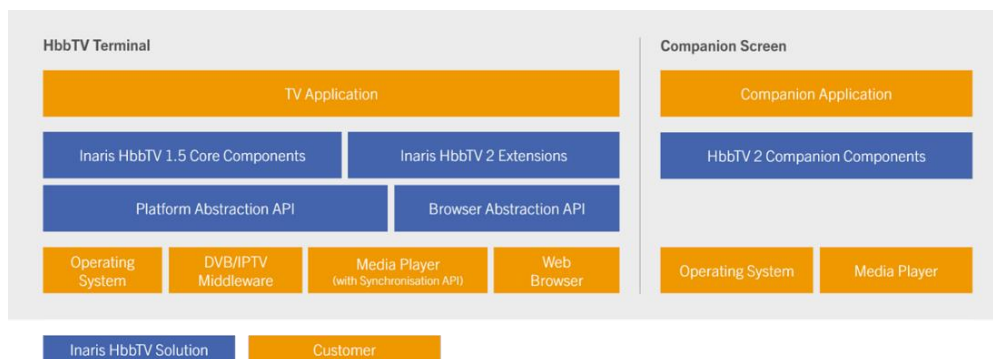


Figura 13 Inaris HbbTV pe dispozitive Linux [107]

Pentru dispozitivele care rulează pe Linux sau alte sisteme de operare derivate, soluția oferă API-uri bine definite, ce pot fi ușor integrate cu elementele software specifice dispozitivului: sistemul de operare, middleware DVB / IPTV, Media Player sau browser Web (Figura 13). Pentru dispozitivele HbbTV 2.0 Companion Screen, soluția permite dezvoltarea de aplicații de tip "companion" specifice producătorului care să interacționeze cu terminalul central HbbTV 2.0.

În ceea ce privește platformele Android, există o gamă largă de software și funcționalități disponibile care pot fi utilizate pentru integrarea HbbTV.

3.3.3 Dispozitiv companion

Specificația HbbTV 2.0 introduce o serie de caracteristici noi care oferă suport pentru dispozitive companion și îmbunătățesc sincronizarea conținutului difuzat și cel de bandă largă. Aceasta oferă un set de module și biblioteci care pot fi ușor integrate în platformele TV existente sau în serviciile oferite de furnizori, pentru a le face mai atractive pentru utilizatorii finali.

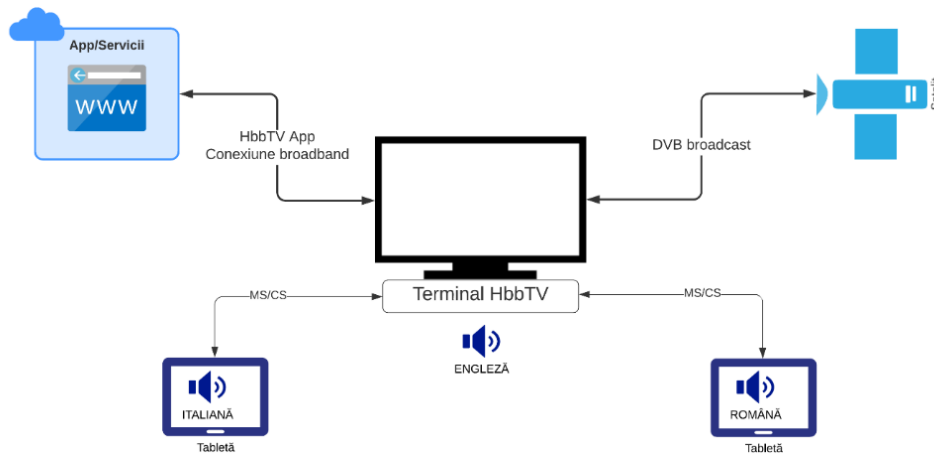


Figura 14 HbbTV 2.0

Soluția HbbTV 2.0 CS/MS (*Companion Screen / Media Synchronization Framework*) personalizează experiența TV și îmbunătățește semnificativ interactivitatea serviciilor deja existente (Figura 14).

Printre cele mai importante servicii oferite se numără:

- Afișarea de conținut adițional pe dispozitivele companion
- Fluxuri audio personalizate pe dispozitivele Companion
- Perspective multiple ale camerei:

3.3.4 Sincronizare media

Sincronizarea media este relevantă atunci când două sau mai multe fluxuri media asociate sunt redată împreună. Exemplul clasic este sincronizarea audio și video pentru o emisiune TV, spre a obține sincronizarea cu mișcarea buzelor (*lip-sync*). Exemple mai recente abordează televiziunea socială (Social TV), sistemele TV hibride și dispozitive de tip ecran secundar.

Pentru ca o aplicație companion (CSA – *Companion Screen Application*) să poată prezenta conținut sincronizat cu un dispozitiv TV, schimbul de informații trebuie să se efectueze între dispozitivul TV și CSA precum și între CSA și serviciile adiționale furnizate prin rețeaua de bandă largă.

3.3.5 Sincronizare inter-dispozitiv

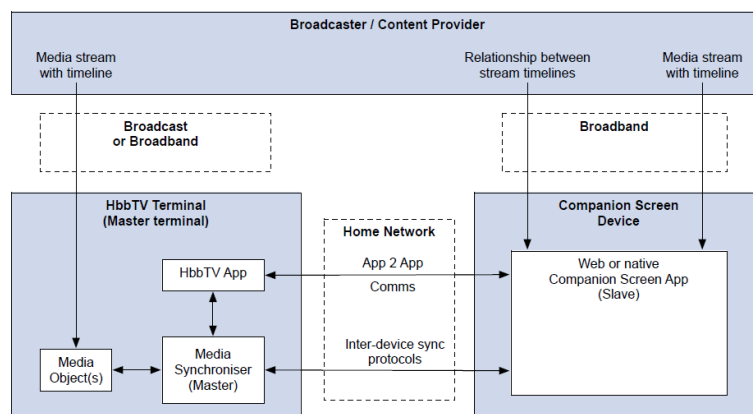


Figura 15 Sincronizare dispozitiv HbbTV – dispozitiv companion (CSA)

Figura 15 prezintă relația dintre obiectul *MediaSynchroniser* și aplicația *HbbTV* pentru sincronizarea între dispozitive. Un terminal acționează ca *master* care dictează momentul prezentării pentru toate fluxurile media. Tot în Figura 15 este prezentată o aplicație *CSA* acționează ca un *slave* al cărui timp este dictat de *master*.

3.4 TV în cadrul platformei Android

Ecosistemul TV evoluează, iar utilizatorii moderni doresc noi funcționalități precum control vocal, recomandări personalizate și magazine de aplicații. Spre deosebire de *Android Open Source Project (AOSP)*, *Android TV [W-18]* vine cu toate serviciile Google preinstalate, iar furnizorii care doresc să lanseze pe piață un dispozitiv *Android TV* trebuie să îndeplinească standarde stricte de protecție cu privire la hardware, software și conținut.

Android TV este o soluție pentru proiectele TV de ultimă generație. Această tehnologie și abordare ajută operatorii să construiască experiențe mai bune pentru utilizatori, să păstreze audiențele existente precum și să atragă mai mulți clienți.

3.4.1 Cadrul de dezvoltare TV Input (TIF)

Android TV Input Framework (TIF) simplifică livrarea de conținut audio/video (în timp real și la cerere) pe dispozitive *Android TV*.

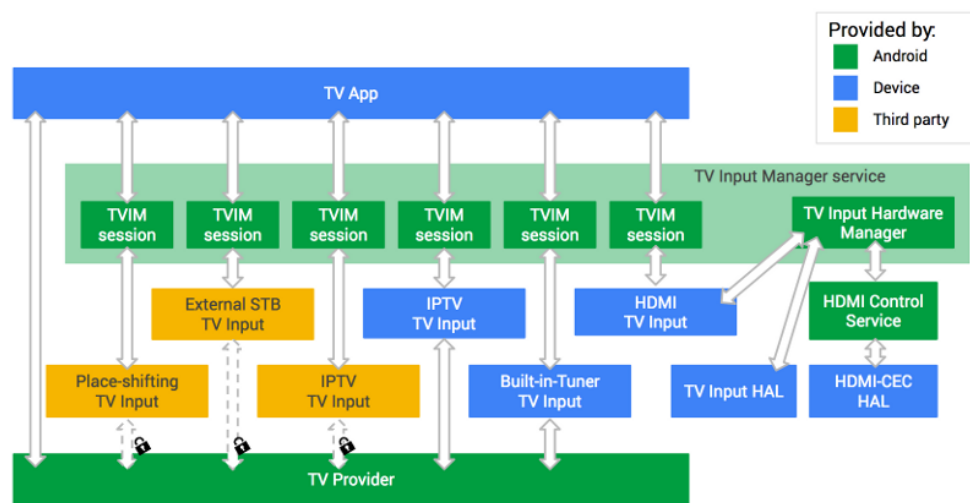


Figura 16 Cadrul de dezvoltare TV Input [W-20]

TIF include un *TV Input Manager* și colaborează cu aplicația TV (o componentă software care, în mod normal nu poate fi înlocuită cu o aplicație terță) pentru a accesa canalele puse la dispoziție de un tuner fizic integrat sau un tuner IP.

Baza de date *TV Provider* stochează canalele și programele furnizate de TV Input. Furnizorul TV (*TV Provider*) publică și gestionează permisiunile asociate, astfel încât un element de tip TV Input să poată vedea doar înregistrările proprii din baza de date.

TV Input Manager oferă un API centralizat pentru Android TIF. Acesta asigură interacțiunea dintre aplicații și modulele TV Input și oferă funcționalități de control parental. Pentru fiecare TV Input trebuie creată o sesiune diferită cu TV Input Manager.

3.4.2 Abstractizarea intrărilor TV

Modulele *TV Input* sunt aplicații Android, în sensul că acestea au un *AndroidManifest.xml* și sunt preinstalate sau instalate prin Google Play. Aplicația *Android TV* acceptă aplicații de sistem preinstalate, aplicații semnate de producătorul dispozitivului și intrări TV furnizate de terțe părți.

3.4.3 Soluție Android TV

În prezent, consumatorii se așteaptă ca dispozitivele media să ofere o gamă largă de servicii VoD, aplicații și jocuri. Cu Android TV, multe dintre funcționalitățile pe care utilizatorii le cunosc deja (de pe tablete sau telefoanele inteligente) sunt disponibile acum și în cadrul sistemului TV.



Figura 17 Soluția Android TV implementată în cadrul dispozitivul Quickline UHD TV STB

Un exemplu de soluție Android TV lansată pe piață este cea oferită de operatorul elvețian Quickline. Dispozitivul Quickline set-top-box îmbunătățește serviciile clasice de televiziune digitală cu servicii de conținut la cerere și are la baza sistemul Android Pie.

Clienții primesc o vastă gamă de aplicații, printre care Netflix, YouTube, Disney+, Spotify, Sky sau DAZN. Multe alte aplicații sunt disponibile în magazinul Google Play fapt care extinde și mai mult calitatea experienței (QoE). Printre serviciile oferite se numără: TV *live* cu mai mult de 200 de canale, sport *live*, șapte zile de Replay TV, tranziția fluentă de la redare a DVB în direct la OTT, PVR în rețea, ghid electronic de programe interactiv, recomandări personalizate, video la cerere complet integrat, acces condiționat, sisteme DRM, teletext, subtitrări sau căutare vocală. Acest set-top box complet hibrid permite Quickline să distribuie un dispozitiv care oferă același set de caracteristici pentru clienții cu acces la o rețea DVB, precum și pentru clienții fără recepție DVB sub forma unui dispozitiv IP/OTT pur.

3.5 Demonstratoare HbbTV

Obiectivele demonstratoarelor sunt acelea de a evidenția beneficiile aduse utilizatorului final din perspectiva suitei de servicii adiționale, a calității serviciilor și calității experienței precum și de a permite dezvoltarea, dimensionarea și optimizarea soluțiilor HbbTV într-un mediu local care cuprinde toate componentele specifice ecosistemului TV: de la furnizorul de conținut, la rețele de difuzare și de bandă largă și până la dispozitivul client.

3.5.1 Demonstrator HbbTV Embedded Linux în mediu local

Demonstratorul *HbbTV Embedded Linux* a fost implementat având la bază soluția Inaris HbbTV. Acesta furnizează toate componentele software ca o extensie la implementările DVB/IPTV sau OTT existente și permite astfel întregului sistem să ruleze aplicații HbbTV. Soluția HbbTV reprezintă atât o extensie pentru componenta middleware proprie Inaris DVB/IPTV cât și pentru orice alt middleware DVB/OTT specific clientului. Componentele soluției sunt independente de platformă și, prin urmare, bine adaptate pentru integrarea pe orice tip de sistem TV (televizor conectat sau STB).

Arhitectura demonstratorului

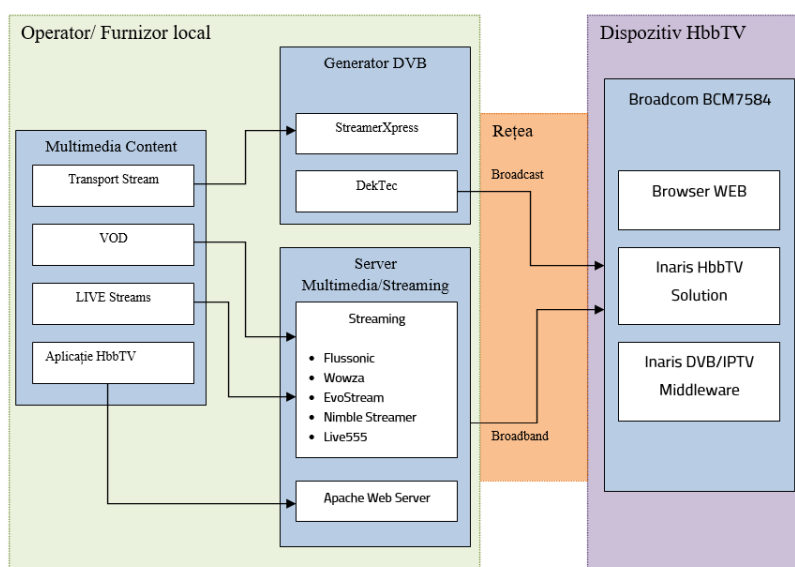


Figura 18 Arhitectură demonstrator HbbTV Embedded Linux în mediu local

Arhitectura demonstratorului *HbbTV Embedded Linux* în mediul local (*offline*) este prezentată în Figura 18.

Demonstratorul cuprinde toate entitățile specifice necesare pentru a putea furniza servicii TV către consumatori și prezintă aceleași caracteristici cu ale unei soluții din mediul real, iar marele avantaj este că aceasta poate fi instalat și configurată într-un mediu local (laborator). Astfel că, un sistem vast și complex, cum este cel TV, care cuprinde toate componentele specifice furnizorului de servicii, rețele vaste de difuzare (cablu și/sau satelit), rețele IP precum și clienții acestor servicii, poate fi redimensionat și adaptat astfel încât să funcționeze în cadrul unui laborator. Acest lucru oferă dezvoltatorilor diverse avantaje precum:

- implementarea de noi servicii și testarea lor în mediu local,
- testarea de noi configurații,
- vedere de ansamblu asupra calității serviciilor oferite înainte ca acestea să fie lansate.

Aplicația HbbTV

Aplicația HbbTV este elementul cheie din perspectiva consumatorului, deoarece reprezintă obiectul pe care consumatorul îl poate manipula, iar prin intermediul acesteia consumatorul are acces la noua gamă de servicii ce pot fi oferite prin intermediul infrastructurii HbbTV.

În cadrul demonstratorului am implementat o aplicație HbbTV care pune la dispoziție servicii precum: streaming OTT live și la cerere, prognoză meteo, fluxuri rețele sociale (integrare Facebook și Twitter atât pentru vizualizare cât și pentru încărcare conținut) sau redare de tip PiP (*Picture in Picture*).



Figura 19 Aplicație HbbTV - Pagina principală

Figura 19 prezintă pagina principală a aplicației HbbTV în cadrul căreia este redat fluxul live DVB (partea stângă) într-o fereastră scalată. În partea din dreapta, aplicația prezintă ultimele noutăți de pe rețeaua de socializare Twitter aferente contului personal al utilizatorului, prognoza meteo precum și un buton "call to action" care oferă utilizatorului posibilitatea de abonare la un buletin informativ direct din aplicație (prin apăsarea acestui singur buton).



Figura 20 Aplicația HbbTV – servicii video OTT live și la cerere

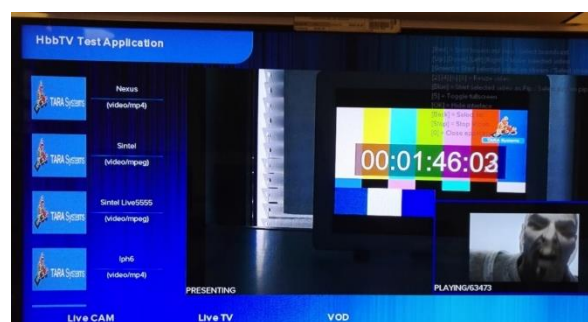


Figura 21 Aplicație HbbTV - DVB Live și video la cerere - Picture in Picture (PiP)

Figura 20 prezintă pagina aplicației HbbTV în cadrul căreia sunt prezentate serviciile OTT live și VoD cu fluxul DVB redat într-o fereastră scalată, iar Figura 21 prezintă redarea unui flux OTT de tip VoD concomitent cu fluxul DVB în format PiP.

3.5.2 Demonstrator HbbTV Android

Am contribuit la crearea unui concept care oferă funcționalitatea HbbTV împreună cu serviciul Zattoo OTT [W-21]. Conceptul a fost implementat pe platforma *NVIDIA SHIELD Android TV* care rulează aplicația de referință *Live Channels* personalizată.

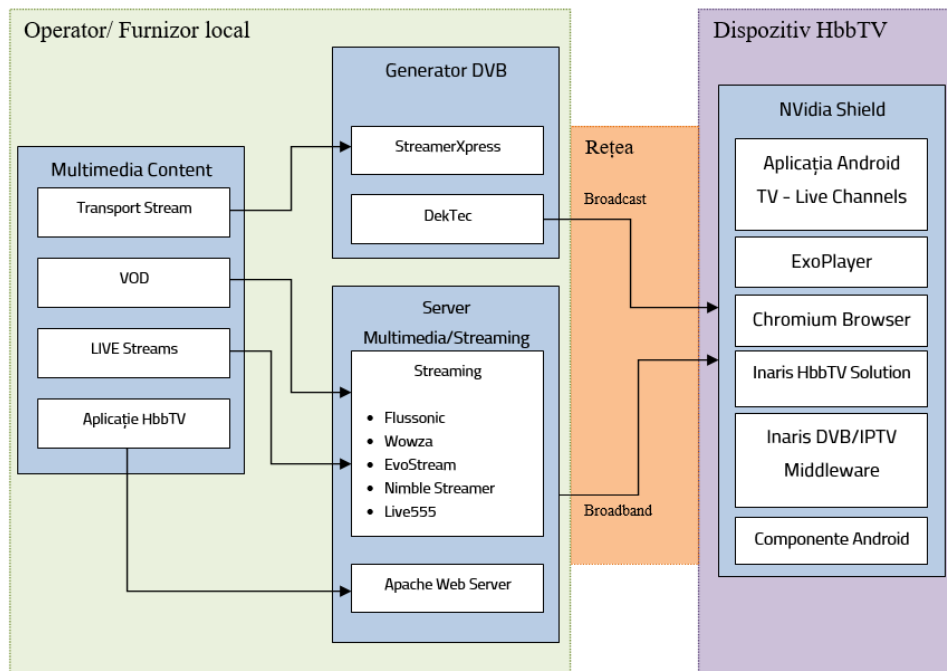


Figura 22 Arhitectură demonstrator HbbTV Android TV în mediu local

Am integrat apoi acest concept în ecosistemul de dezvoltare și testare local prezentat anterior, noua arhitectură fiind prezentată în Figura 22. Am extins aplicația HbbTV și am introdus suport pentru dispozitive companion conform cu standardul HbbTV 2.0.



Figura 23 Aplicație HbbTV - profiluri utilizator într-un ecosistem Smart Home



Figura 24 Aplicație HbbTV - sincronizare flux A/V pe dispozitiv companion

Această parte a arhitecturii HbbTV a permis asocierea și sincronizarea atât cu dispozitive companion cu ecran (smartphone, tableta) cât și fără ecran (dispozitive *"headless"*) cum ar fi asistenți virtuali (Alexa, Google Home) sau dispozitive de tip portal IoT, fapt care a extins considerabil gama de servicii ce poate fi oferită și a conturat o nouă perspectivă a dispozitivului TV: element central de management și control al mediului "Smart Home".

3.6 Sumarul capitolului

Acest capitol abordează aspecte legate de televiziunea de ultimă generație raportate la: soluțiile software existente, la sistemele/dispozitivele TV moderne și la mediile și modelele de distribuție.

Prima secțiune evidențiază importanța componentei middleware în cadrul unui sistem TV precum și caracteristicile funcționale ale acestei componente care asigură fiabilitatea, performanța și buna funcționare a întregului sistem.

Următoarele secțiuni evidențiază modelele noi de distribuție în televiziunea digitală cu accent pe mecanisme hibride corelate (HbbTV) în care serviciile de bandă largă și cele clasice (prin rețele de difuzare) pot conlucra pentru a crea o nouă plajă de servicii caracterizate prin interactivitate și calitate îmbunătățită raportate la profilul personal al utilizatorului.

În final, am prezentat două demonstratoare HbbTV dezvoltate în cadrul unei platforme embedded Linux respectiv Android care evidențiază versatilitatea, beneficiile (din perspectiva furnizorilor și a consumatorilor) precum și facilitatea de integrare a infrastructurii HbbTV în contextul televiziunii de ultimă generație.

Capitolul 4. Optimizarea distribuției de fluxuri în Cloud

Prin migrarea volumului de lucru și a complexității către Cloud, furnizorii pot beneficia de servicii de procesare intensivă (cum ar fi codarea, trans-codarea), de spațiu de stocare flexibil, adaptat necesităților și pot gestiona activele prin soluții eficiente, flexibile, sigure și scalabile raportate la fluxul de lucru, iar utilizatorii pot accesa și consuma servicii complexe ce necesită resurse semnificative, oricând și de oriunde, utilizând orice dispozitiv conectat indiferent de specificațiile acestuia.

4.1 Paradigma Cloud și tipuri de servicii

Conceptul de Cloud Computing nu este unul nou, dar pe parcursul ultimilor ani a înregistrat un succes comercial foarte mare și va continua să joace un rol important și în viitor, date fiind tendințele actuale.

Majoritatea serviciilor de Cloud Computing se încadrează în trei mari categorii:

- software ca serviciu (SaaS)
- platforma ca serviciu (PaaS)
- infrastructura ca serviciu (IaaS)

4.2 Servicii de Streaming în Cloud

Evoluția și dezvoltarea constantă a tehnologiilor și a accesului la Internet au condus la o evoluție impresionantă a industriei multimedia. Filmele, jocurile și celelalte categorii media asociate se îndreaptă spre Cloud pentru o utilizare și o accesibilitate îmbunătățită. Acest lucru este valabil mai ales pentru servicii cum ar fi supravegherea video, video la cerere (VoD) sau canale TV în timp real.

Cloud Computing oferă diferite oportunități pentru companiile media astfel încât acestea să-și îmbunătățească avantajul competitiv și portofoliul prin livrare de conținut media inter-platfome mai rapid ca oricând, la un cost redus și într-un mod scalabil și sigur.

4.2.1 Arhitectura funcțională

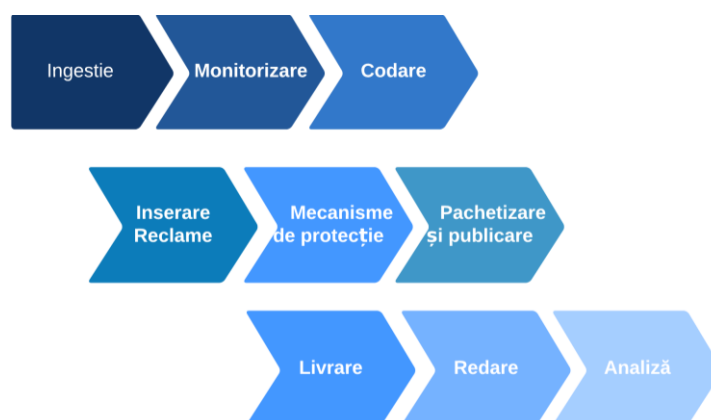


Figura 25 Cloud streaming – arhitectură funcțională

Figura 25 prezintă o vedere de ansamblu asupra arhitecturii funcționale a conceptului de Cloud streaming. Cele mai importante etape ale acestui proces sunt: producția, ingestia, monitorizarea, codarea, inserarea de reclame, protecția, pachetizarea și publicarea, livrarea, redarea și analiza.

4.2.2 Arhitectura Cloud streaming în timp real

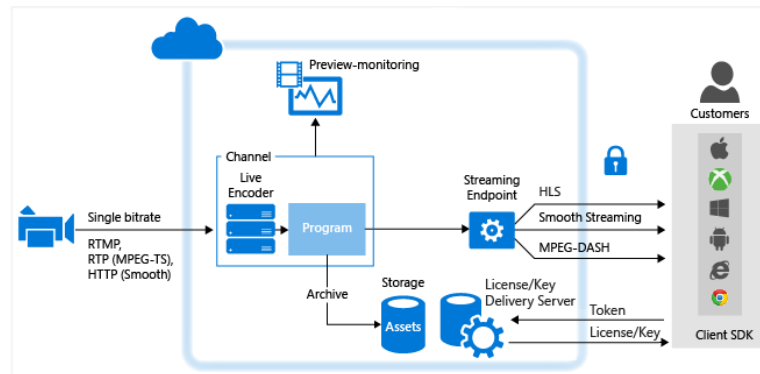


Figura 26 Arhitectura live streaming Cloud - Azure Media Services

Figura 26 prezintă o arhitectură pentru Cloud *live* streaming bazată pe *Azure Media Services* (AMS) [W-22]. Un flux în timp real, generat la o singură rată de biți este încărcat în Cloud. AMS acceptă protocoale RTMP, RTP și HTTP pentru încărcarea conținutului în Cloud. Fluxul în sine este codat "din mers" ("în zbor", *on-the-fly*) în diferite formate de către un codor în timp real, iar conținutul codat poate fi deja vizualizat în scopuri de monitorizare. Ieșirea codorului este furnizată unei componente care asigură atât arhivarea conținutului pentru redarea ulterioară, cât și publicarea conținutului într-un CDN.

4.3 Televiziune Cloud

Pentru a susține televiziunea prin Internet, cei responsabili de distribuirea conținutului încep să migreze operațiunile specifice într-un mediu mai flexibil și mai agil: Cloud.

Migrarea TV în Cloud înseamnă a identifica funcțiile specifice care sunt în prezent oferite de hardware dedicat și software local și a le muta în medii de procesare și de stocare distribuite.

Concret, migrarea TV în Cloud are capacitatea de a oferi economii și eficiență în ceea ce privește costurile și deschide calea către noi concepte inovatoare care ar putea transforma sistemul TV într-un mediu mult mai dinamic și personalizat în concordanță cu cerințele actuale.

4.3.1 Procesarea și distribuția fluxurilor în Cloud

Migrarea către Cloud aduce o serie de beneficii în ceea ce privește procesarea, distribuția și stocarea conținutului TV. Printre cele mai importante procese care pot fi migrate cu ușurință către Cloud se numără: codarea și trans-codarea, automatizarea difuzării, pachetizarea și distribuția fluxurilor și stocarea și arhivarea.

4.3.2 Furnizori virtuali multi-canal

Furnizorii multi-canal virtuali (MVPD – *Multi-channel Video Programming Distributors*) sunt furnizori de servicii care oferă mai multe canale TV liniare.

Un MVPD tradițional include operatorii de cablu, furnizorii de televiziune direct prin satelit (DirecTV sau DISH Network) și chiar companii de telecomunicații precum AT&T. În mod obișnuit, doar unul sau două MVPDs concurează într-o anumită locație din cauza legilor și practicilor vechi de franciză / monopol, precum și a costurilor ridicate ale infrastructurii de implementare.

4.3.3 Televiziunea hibridă în Cloud

Pe măsură ce tehnologia evoluează, serviciile devin mai complexe, iar utilizatorii impun cerințe mai mari în ceea ce privește experiența multimedială. În acest context, conceptul de Cloud prezintă un mare interes, deoarece oferă toate mecanismele necesare pentru dezvoltare rapidă, furnizare și monetizare într-un mediu scalabil și elastic.

Cu toate acestea, avansul serviciilor complexe la rezoluții ridicate, integrarea realității augmentate/virtuale/mixte, video 360° și jocurile hiper-realiste, vor impune cerințe din ce în ce mai mari pentru capacitățile hardware ale sistemelor TV, în principal în ceea ce privește procesorul, GPU și spațiul de stocare sau RAM.

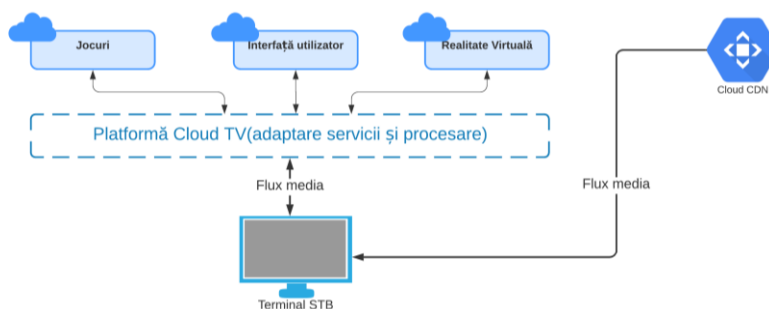


Figura 27 Arhitectură dispozitiv STB în mediul Cloud

Raportat la tendința de dezvoltare a capacităților hardware ale unui dispozitiv STB și a serviciilor hibride (în rețele de difuzare și de bandă largă), migrarea către Cloud reprezintă cea mai eficientă abordare care poate ajuta operatorii să rezolve dificultățile de funcționare și dezvoltare.

4.4 Video 360° și realitate virtuală în Cloud

Fiind una dintre aplicațiile VR esențiale, video 360° pune la dispoziția utilizatorului o experiență interactivă de înaltă calitate apropiată de realitate.

Există diverse soluții de streaming pentru video 360°, cea mai comună fiind proiectarea și împărțirea unui cadru echi-rectangular în mai multe regiuni dreptunghiulare cunoscute sub numele de plăci "tiles", pentru a depăși problema lățimii de bandă [71, 72].

Redarea video 360° bazată pe Cloud permite vizualizarea fluxurilor video 360° de înaltă calitate pe dispozitive cu capacități limitate, cum ar fi televizoarele sau dispozitivele STB.

O soluție de tip Cloud abordează ambele aspecte și reduce resursele de bandă și de procesare necesare, prin procesarea câmpului vizual în Cloud în avans și prin transmiterea numai a câmpului vizual selectat către client utilizând conceptul de streaming.

4.4.1 Soluția video 360° Fraunhofer

Redarea video la 360° bazată pe Cloud permite furnizorilor de conținut să ofere o experiență video inovatoare pe ecranele TV tradiționale. Utilizatorul poate controla experiența redării video și poate interacționa cu suprapunerile dinamice de conținut (de exemplu, pentru publicitate interactivă).

Soluția de redare video la 360° bazată pe Cloud pentru HbbTV creată de Institutul Fraunhofer constă din următoarele componente: preprocesare video 360, stocare și streaming, componenta client de redare video 360° și aplicația de control mobil Video 360°.

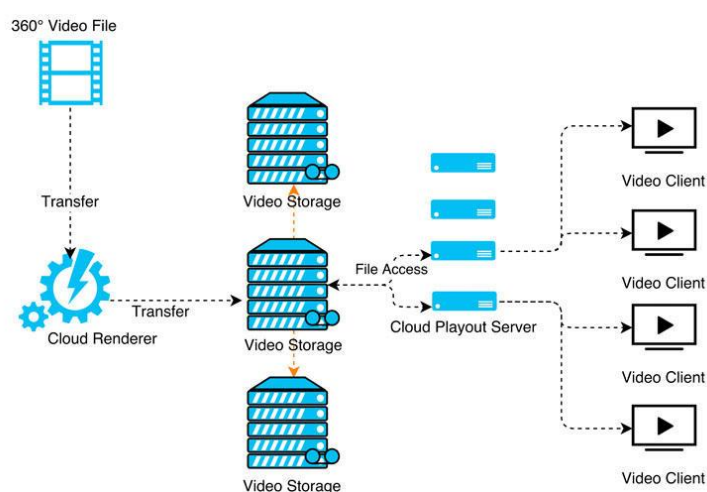


Figura 28 Arhitectură video 360° în Cloud

4.4.2 Soluția Wowza - streaming Video 360° și VR

În timp ce câteva tehnologii VR folosesc protocoale de streaming proprietare, majoritatea folosesc variante standard publice. Acest concept bazat pe standarde deschise se află în centrul *Wowza Streaming Engine* și *Wowza Streaming Cloud*. Zecile de camere de 360° și aplicațiile de *stitching* ("cusături" - îmbinări) video disponibile pot afișa un flux video standard H.264 prin protocolul RTSP. Câteva exemple includ GIROPTIC, 360fly și VideoStitch Vahana VR. *Wowza Streaming Engine* și *Wowza Streaming Cloud* pot apoi să preia acel flux HD și să-l trans-codeze utilizând mai multe rate de biți pentru livrarea adaptivă pe orice ecran, indiferent de rezoluția dispozitivului sau de lățimea de bandă disponibilă. Redarea se realizează folosind aplicații de redare de conținut publice sau proprietare (de exemplu de la companii precum Krpano, Finwe, Oculus sau Google).

4.5 Demonstrator Video 360° și VR în Cloud utilizând infrastructura HbbTV

Experiențele de realitate augmentată sunt disponibile astăzi fie pe telefoane inteligente și tablete, fie pe ochelari AR, cum ar fi HoloLens. Cu toate acestea, din cauza puterii de calcul limitate și a FoV, suprapunerea și interacțiunea dintre conținutul digital și lumea fizică nu sunt armonizate.

Pe de altă parte, o soluție care permite mobilitatea și una care utilizează echipamente mai ieftine nu oferă o calitate suficient de bună a experienței datorită limitărilor hardware. Odată cu lansarea 5G și a adoptării la scară largă a conexiunilor bazate pe fibră optică, capacitățile necesare pentru a oferi suport AR/VR pot fi mutate din mediul local în Cloud, rezultând o diminuare semnificativă a resurselor necesare pe partea de client precum și a costurilor.

4.5.1 Arhitectura și principiul de funcționare

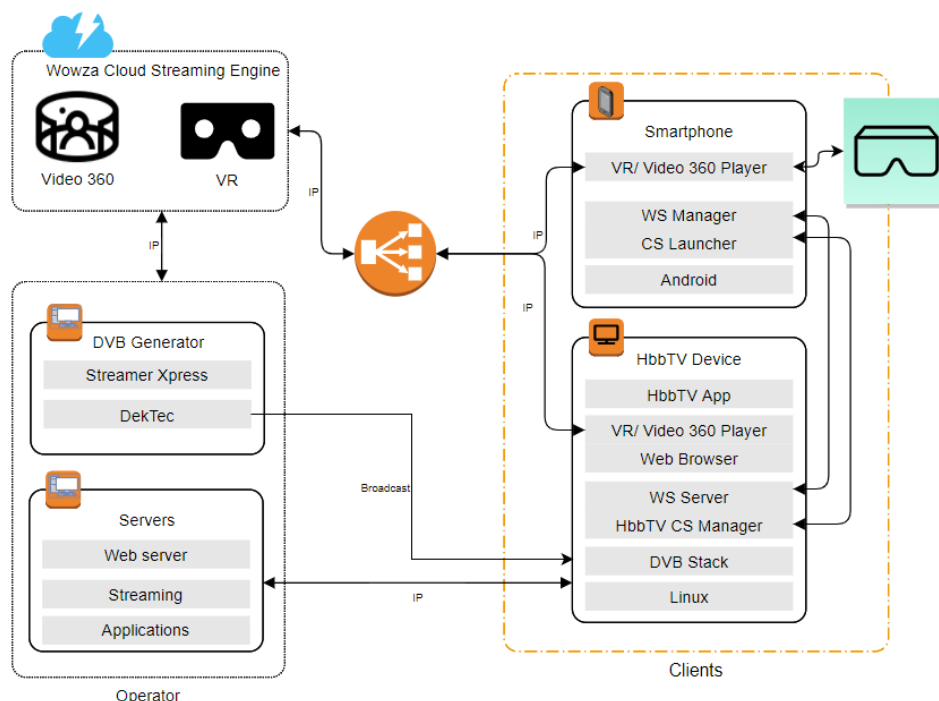


Figura 29 Arhitectura demonstrator Video 360° și VR în Cloud utilizând infrastructura HbbTV

Figura 29 prezintă arhitectura generică a demonstratorului Video 360° și VR în Cloud care acoperă: producția și livrarea de conținut video 360°/VR, simulatorul de furnizor de servicii *broadcast* și *broadband*, clienții HbbTV și clienții "thin" (smartphones, tablete).

Demonstratorul utilizează soluția Cloud Wowza optimizată pentru streaming VR și 360° de înaltă calitate care oferă suport pentru rezoluții de până la 8K. Această soluție oferă suport pentru transmiterea conținutului video 360°/VR atât în timp real (sport, concerte, etc.) cât și la cerere (fișiere statice, pre-încărcate, furnizate la cererea clientului sau corelate cu alte evenimente).

Sistemul de redare propus utilizează pe partea de client arhitectura HbbTV și este compus dintr-un sistem HbbTV (smart TV, set-top-box compatibil HbbTV) care acționează ca dispozitiv central și mai mulți clienți "thin" (smartphone, tabletă, dispozitive specifice VR – Google Cardboard sau Oculus Rift) care acționează ca dispozitiv companion pentru a îmbunătăți calitatea experienței utilizatorului. Sincronizarea între cele două tipuri de clienți este asigurată prin intermediul componentei MS-CS (Media Synchronization – Companion Screen) specifică standardului HbbTV. Astfel, modurile de consum disponibile acoperă majoritatea scenariilor: fie că utilizatorul deține sau nu un dispozitiv dedicat de redare video 360°/VR, acesta tot poate accesa acest tip de servicii.

4.5.2 Sistemul de furnizare media 360° și VR

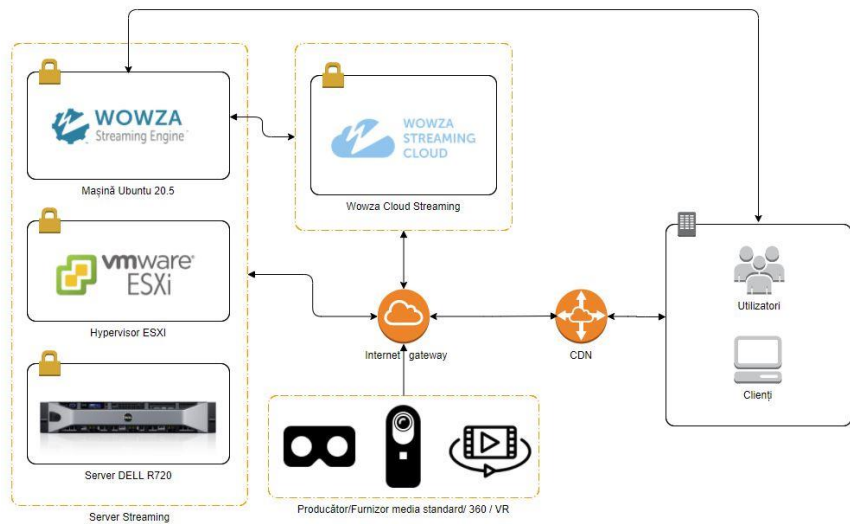
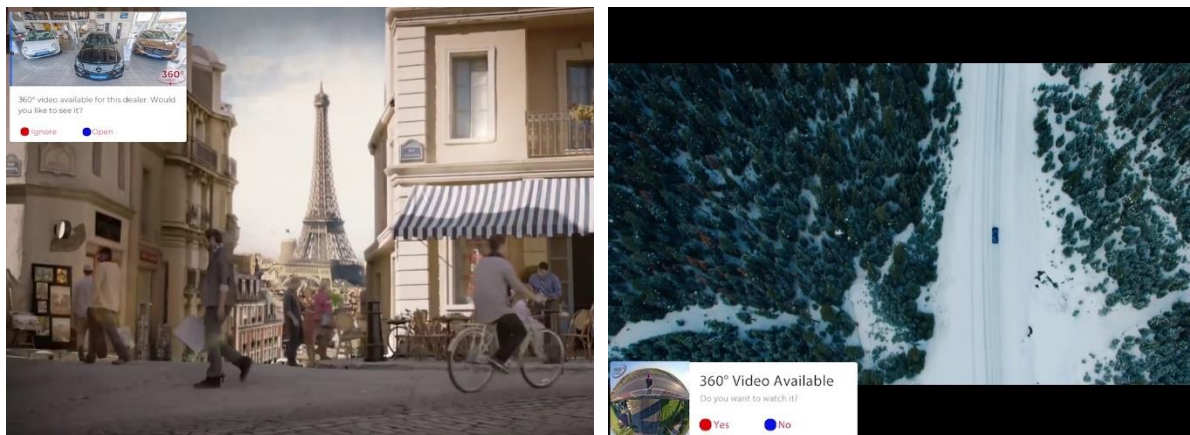


Figura 30 Sistem redare bazat pe Wowza și infrastructură ESXI

Unul dintre cele mai importante elemente ale demonstratorului îl reprezintă sistemul de redare ("playout") care pune la dispoziție toate elementele necesare pentru ingestia fluxurilor 360°, procesarea și livrarea adaptivă către clienți. Am utilizat soluția Wowza ca server de streaming și ingestie de conținut, care, prin intermediul componentei Cloud, acceptă fluxuri atât direct de la un dispozitiv de captare/înregistrare 360° (în special pentru evenimente *live*), cât și de la un server de streaming clasic (pentru servicii la cerere).

4.5.3 Scenariu de aplicare – campanii publicitare cu experiență vizuală imersivă

Campaniile publicitare video la 360° permit partajarea de conținut interactiv și uimitor din punct de vedere vizual. Cu toate acestea, această tendință nu a atins încă adoptarea pe scară largă ca și instrument de marketing. În cadrul demonstratorului, am implementat o aplicație HbbTV prin intermediul căreia pot fi conduse campanii publicitare cu experiență vizuală imersivă.



a) În cadrul unei reclame auto

b) În cadrul unei reclame din turism

Figura 31 Notificare HbbTV cu disponibilitate video 360°



Figura 32 Campanie publicitară turism- video 360° cadru-în-cadru

4.6 Sumarul capitolului

Acest capitol prezintă o vedere detaliată asupra fluxurilor multimedia a televiziunii și a serviciilor conexe în contextul Cloud. Migrarea volumului de lucru către Cloud și virtualizarea funcțiilor specifice dispozitivului client sau a sistemelor de tip server asigură o soluție eficientă, flexibilă, securizată și scalabilă pentru configurarea fluxului de lucru cu beneficii atât pentru utilizatori, cât și pentru furnizorii de servicii.

În scenariile actuale în care au loc sinergii între conținutul multimedia propriu-zis, între mecanisme de livrare și modele de consum, abordarea Cloud permite furnizorilor de servicii și producătorilor de dispozitive să asigure toate condițiile necesare pentru a oferi consumatorilor finali o experiență interesantă, interactivă și fiabilă de consum a diferitelor tipuri de conținut pe o varietate de dispozitive indiferent de resursele computaționale disponibile și în diferite condiții de rețea.

Am concluzionat că respectarea cerințelor stricte în ceea ce privește QoS și QoE necesită o infrastructură tehnologică scalabilă, robustă, dar și rentabilă din punct de vedere al costurilor. Abordarea Cloud este capabilă să îndeplinească toate aceste cerințe și condiționări. Procesele intensive computațional (cum ar fi codarea sau trans-codarea), gestionarea activelor și stocarea, pot fi cu ușurință migrate către Cloud deschizând calea către furnizarea de servicii complexe pe dispozitive cu resurse computaționale limitate.

În acest context am dezvoltat un demonstrator video 360° / VR în Cloud utilizând infrastructura HbbTV în rețeaua locală a clientului. Prin intermediul sistemului am evidențiat faptul că serviciile complexe care abordează experiența audio/video imersivă sau realitatea virtuală pot fi furnizate și consumate în cadrul unor dispozitive cu resurse limitate, de uz general, cum ar fi sistemele TV sau de tip set-top-box fără a afecta calitatea sau experiența utilizatorului. Prin urmare, integrarea soluțiilor de tip Cloud și migrarea către Cloud a infrastructurii existente permit îmbunătățirea semnificativă a serviciilor deja disponibile, extinderea rapidă, facilă și la un cost redus a acestora, precum și furnizarea de noi servicii cu grad ridicat de complexitate, până acum disponibile pe un set restrâns de dispozitive, în cadrul dispozitivelor de uz general.

Capitolul 5. Comunicații mașină-mașină (M2M) terestre și prin satelit

În viitorul apropiat, totul va fi din ce în ce mai conectat, rețelele fără fir vor asigura conectarea mai multor mașini decât persoane, iar tehnologia M2M va căpăta o eficiență accentuată din punct de vedere energetic, al costurilor, al siguranței și securității. Estimarea asociației GSM ("GSMA") este că numărul de conexiuni mobile va crește până la 50 de miliarde până la sfârșitul deceniului, iar potrivit *Wireless World Research Forum*, vor exista câteva trilioane de lucruri conectate prin tehnologiile fără fir.

5.1 Internetul obiectelor – concept, taxonomie și caracteristici

Conceptul de "Internet of Things" (IoT) a devenit o parte esențială a realității. Astăzi, există mai mult de 13 miliarde de dispozitive interconectate în funcțiune la nivel global, echivalentul a aproape două dispozitive pentru fiecare locuitor al planetei. Deși cele mai frecvente cazuri de utilizare ale IoT constau în așa-numitele dispozitive *Smart Home* (de exemplu: termostate programabile sau aparate controlate de la distanță), cea mai mare parte a creșterii viitoare a IoT este probabil să provină din aplicații ale tehnologiei în aproape fiecare sector al economiei, de la medii comerciale și industriale, la asistență medicală și siguranță publică.

5.1.1 Arhitectura IoT

Pe măsură ce continuă să se extindă, IoT va avea nevoie de o arhitectură flexibilă, stratificată pentru a conecta miliarde de obiecte eterogene prin diferite tipuri de rețele. În timp ce există demersuri pentru definirea unei arhitecturi comune, o alegere dominantă nu a fost încă agreată la nivel mondial. Majoritatea modelelor inițiale aveau o arhitectură în trei straturi [131]: percepție, rețea și aplicație.

Modelele mai recente au adăugat un nivel mai accentuat de abstractizare al arhitecturii IoT. Rezultatul este o arhitectură pe cinci straturi: obiecte, abstractizarea obiectelor, managementul serviciilor, aplicație și stratul business care se bazează pe cerințele și performanțele obiectelor IoT.

5.1.2 Standarde și protocoale în IoT

Există trei componente fundamentale care se combină pentru a forma un nod IoT: măsurare, inteligență și comunicații fără fir. Conectivitatea fără fir este vitală, deoarece permite ca nodurile de senzori și actuatori să fie implementate rapid și ușor, fără necesitatea de a avea trasee cablate pentru fiecare locație. Aplicațiile IoT și M2M se bazează pe comunicații radio de putere redusă și au nevoie de un portal care să le permită să comunice cu mediul extern.

Coloana vertebrală a acestor tipuri de sisteme o reprezintă protocoalele de date și tehnologiile de comunicație [134] capabile să integreze fără probleme mii de noduri asigurând un transfer de date fiabil.

Acestea operează la diferite niveluri ale modelului OSI (*Open Systems Interconnection*), cele mai importante (din perspectiva acestui context) fiind: nivelul legătură de date, nivelul rețea și nivelul sesiune.

5.1.3 Protocoale la nivelul sesiune

În cadrul aplicațiilor M2M și IoT, cele mai importante protocoale la nivel sesiune sunt:

- Message Queue Telemetry Transport (MQTT)
- Constrained Application Protocol (CoAP)
- Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)

5.1.4 Protocoale la nivelul legăturii de date

La nivelul legăturii de date, printre cele mai importante specificații se numără:

- Bluetooth Low Energy (BLE)
- ZigBee
- Z-Wave
- Wi-Fi
- Sigfox
- LoRaWAN (Long Range WAN)

5.2 Radio definit software (SDR) în contextul M2M/IoT

Datorită dezvoltării rapide a tehnologiilor de rețea și comunicații, paradigma de calcul ubicuu a început să prindă contur și promite să devină o parte semnificativă a realității noastre.

Interconectarea dispozitivelor inteligente (unele din cele mai importante "obiecte") într-o rețea scalabilă, la nivel global, reprezintă o provocare semnificativă care poate fi abordată prin alegerea celei mai potrivite tehnologii pentru îndeplinirea cerințelor IoT (și anume, interoperabilitatea, funcționarea autonomă, radio conștientizarea – "*cogniția*" asupra stării de ocupare a spectrului, auto-descrierea, extensibilitatea) [W-24]. În acest context, tehnologiile de tip radio definit software (SDR) reprezintă o soluție fezabilă în ceea ce privește asigurarea cerințelor de scalabilitate prin extinderea capacităților de comunicare IoT către partea satelitară.

5.2.1 Comunicații satelitare bazate pe platforme SDR

Datorită flexibilității lor, SDR pot avea o contribuție majoră la îmbunătățirea comunicațiilor prin satelit. Prin utilizarea FPGA și a interfeței radio, SDR oferă o mare versatilitate, care le permite să fie utilizate cu mai multe benzi și tehnici de modulare, fără a necesita nicio modificare hardware. SDR prezintă un deosebit interes pentru încorporarea pe sateliții miniaturali *CubeSat* datorită dimensiunii lor tot mai scăzute și a consumului mic de energie [85]-[90].

SDR oferă noi oportunități de îmbunătățire a serviciilor furnizate utilizatorilor, permițând coexistența diferitelor constelații. De asemenea, facilitează implementarea unor algoritmi eficienți pentru atenuarea interferențelor multi-cale, îmbunătățind astfel precizia poziționării.

NASA a văzut, de asemenea, potențialul de a utiliza platforme SDR pentru comunicații prin satelit. Pentru a promova utilizarea SDR și a spori nivelul său tehnologic de disponibilitate TRL (*Technology Readiness Level*), NASA a operat sistemul de testare pentru comunicații și navigație spațială (SCaN) pe Stația Spațială Internațională [110]. Sistemul de testare este format din trei module SDR care oferă legături duplex în banda S cu solul și legături duplex în benzile S și Ka cu sistemul de urmărire și releu de date prin satelit (TDRSS) și banda L numai cu sistemul GPS.

5.2.2 Rolul legăturilor satelitare în aplicații IoT/M2M

Sateliții au avantaje unice pentru a conecta activele IoT, oferind o acoperire cu adevărat omniprezentă. O astfel de abordare este fiabilă cu un SLA (Service Level Agreement) garantat și un serviciu consecvent capabil să asigure o acoperire generală. Combinarea tehnologiei prin satelit cu IoT terestru va fi cheia de care industria are nevoie pentru a asigura conectivitatea activelor lor, indiferent de locație.

În timp ce majoritatea rețelelor IoT sunt terestre, aplicațiile IoT oferă, de asemenea, diverse oportunități pentru operatorii de satelit consacrați și nou-intrați pe piață, în special în conectarea zonelor îndepărtate care nu dispun de infrastructură terestră. Oportunitățile variază de la vânzarea de capacități suplimentare pe sateliți GEO (geostaționari) în benzile C, Ku și Ka pentru conectivitate directă sau complementară (*backhaul*), până la implementarea de noi constelații LEO (Low Earth Orbit) sau HEO (*Highly Elliptical Orbit*), optimizate pentru piața IoT.

5.2.3 Soluții comerciale pentru comunicații M2M prin satelit

Conform studiului NSR (Northern Sky Research) [W-27], până în 2023 se estimează că există 5,8 milioane de conexiuni M2M prin satelit la nivel global. Majoritatea terminalelor de utilizator vor utiliza banda L (93% din unități). Banda Ku vine al doilea loc, la mare distanță, cu 5,2% din unități, iar banda C și sateliții de mare capacitate (HTS) vor continua să vizeze nișe ale pieței. Piața este dominată de aplicații bazate pe tehnologii terestre datorită costurilor mai mici ale acestora.

Se poate afirma că soluțiile existente vizează aplicații specifice și se bazează în cea mai mare parte pe protocoale proprietare. Chiar dacă soluțiile bazate pe SDR încep să -și facă loc pe piață, nu există produse mature de portaluri prin satelit capabile să ofere suport pentru protocoalele care sunt utilizate în prezent de WSANs.

5.3 Comunicații M2M/IoT - cerințe funcționale și scenarii de aplicare

Rețelele IoT/IoRT (Internet of Remote Things) se caracterizează în general prin existența unui număr mare de terminale de dimensiuni mici, cu putere redusă, care partajează resursele disponibile în condiții de trafic foarte dinamice. În special, pe legătura de întoarcere (stația terestră către satelit), se preconizează că utilizatorii vor genera un trafic scurt de tip salvă, cu perioade extinse de inactivitate. Prin urmare sunt preferate scheme de acces aleatoriu asincrone, în detrimentul celor sincrone cu costuri ridicate.

5.3.1 Scenarii de aplicare

În cadrul proiectului [7.3.2.1] am identificat și analizat patru scenarii posibile pentru serviciile M2M/IoT. Scenariile de aplicare identificate ca fiind cele mai promițătoare, care au mari șanse să se dezvolte în viitorul apropiat sunt următoarele (sunt exemple, există multe altele care nu au fost luate în calcul):

- **Scenariul 1.** Rețelele de contoare;
- **Scenariul 2.** Monitorizarea centralelor de energie regenerabilă;
- **Scenariul 3.** Supravegherea video de la distanță;
- **Scenariul 4.** Servicii de tranzacții financiare, cum ar fi conectarea unui ATM sau unui punct de vânzare (POS).

5.3.2 Legătura terestră – specificații funcționale

Dezvoltarea rapidă a sistemelor IoT/M2M și necesitatea a milioane de dispozitive de a se conecta cu mediul înconjurător fac ca una dintre cele mai importante componente ale acestor tipuri de sisteme să fie portalul. Pe măsură de dispozitivele, protocoalele și necesitățile se multiplică, a conecta componentele, individual, la sistemele care au nevoie de datele lor devine nefezabil și uneori chiar imposibil.

Infrastructura aplicației IoT (nivelul OSI 5), care este situată deasupra TCP (sau uneori UDP) în stiva de protocoale TCP/IP, utilizează protocoale de comunicare care răspund nevoilor specifice ale dispozitivelor nesupravegheate, dispersate geografic și adesea mobile. Pentru asigurarea accesului multi-protocol pentru partea terestră, sunt disponibile trei abordări: implementarea protocoalelor IoT și M2M în cadrul platformei SDR, utilizarea de module COTS și abordarea hibridă.

5.3.3 Legătura satelitară – specificații funcționale

Pentru legătura outbound (downlink: satelit - terminal) interfața radio de referință este DVB-S2. Oricum, luând în considerare necesitățile de viteză redusă de date pe legătura outbound, în loc de a avea o purtătoare de bandă largă întregă dedicată unui serviciu, poate fi luată decizia de a utiliza o parte redusă a multiplexului DVB-S2. Acest lucru este perfect fezabil cu o înțelegere potrivită (SLA) cu operatorul serviciilor de satelit. Analize ulterioare au relevat existența unor derivate ale standardului DVB-S2, ca de exemplu DVB-S2X, care este o extensie a specificațiilor DVB-S2 care promovează tehnologii și caracteristici suplimentare.

Necesitățile legăturii inbound (uplink: terminal -satelit) implică rate de date relativ scăzute, dar un număr uriaș de terminale care accesează de la distanță resursele de transmisie în rafale scurte. Această situație conduce către tehnici simple de acces la mediu, ușoare și fără coordonare, disponibile cu acces aleatoriu. Am identificat inițial trei soluții potențiale:

- **Componenta de acces aleatoriu** (CRDSA – Contention Resolution Diversity Slotted Aloha și IRSA – Irregular Repetition Slotted Aloha) ale DVB-RCS (Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite),

- **S-MIM** (S-band Mobile Interactive Multimedia) cu E-SSA (Enhanced – Spread Spectrum Aloha), standardizat recent de către ETSI pentru performanțele sale pentru canalul Return.
- **Meteosat Data Collection and Distribution Service** (DCP – Digital Cinema Package) dezvoltat pentru culegerea datelor meteo achiziționate de mici terminale împrăștiate în toată lumea.

Am analizat performanțele primelor două tehnici în comparație cu cerințele scenariilor identificate, evidențiind argumentele pro și contra. În urma analizei, s-au conturat următoarele am concluzionat că cea mai potrivită interfață radio pentru legăturile inbound pentru scenariile definite anterior ar fi S-MIM, cu adaptarea adecvată pentru utilizarea în benzile K_u/K_a .

5.3.4 Platforma radio definit software – specificații funcționale

Dat fiind că în cadrul unui portal hibrid IoT este nevoie de o soluție tehnică de tip *stand-alone* ("de sine stătătoare), fără componente externe de tip PC, soluția cea mai ieftină este încorporarea platformei de calcul care realizează conversia protocoalelor și rutarea în același sistem.

O astfel de soluție este USRP E310 (Figura 33) produs de NI (*National Instruments*), o variantă încorporată a modulelor populare USRP, care permite o integrare completă a întregului lanț de procesare și rutare într-un singur dispozitiv.



Figura 33 USRP E310 [W-47]

USRP E310 oferă o soluție compactă pentru aplicații SDR încorporate, având atât un FPGA de mare viteză pentru modularea/demodularea semnalelor radio, cât și un nucleu procesor încorporat în FPGA de mare viteză capabil să ruleze Embedded Linux și GNURadio.

5.4 Demonstrator M2M/IoT hibrid "STARGATE-MIPS"

Pe baza analizelor efectuate și a concluziilor desprinse anterior, a fost definită o arhitectură inițială a unui portal hibrid M2M/IoT - STARGATE-MIPS (7.2.2.4). Figura 34 prezintă arhitectura generică a sistemului STARGATE-MIPS, împărțită în cinci planuri principale:

- rețelele de senzori/actuatori wireless (WSANs);
- portalul terestru/satelit;
- legătura terestră/satelit;
- *backend* server terestru;
- aplicațiile client.

Componenta principală a sistemului este portalul terestru/satelit, implementat în cadrul unei platforme SDR.

Acesta acționează ca o punte intermediară între rețelele de senzori și actuatori fără fir (WSAN) și aplicațiile client și asigură: agregarea datelor obținute de la WSANs, translatarea între diferitele protocoale utilizate, procesarea și stocarea temporară a datelor obținute și transmiterea acestora mai departe prin intermediul unei legături terestre (WAN, 3G/4G/5G) sau satelit precum și managementul WSANs.

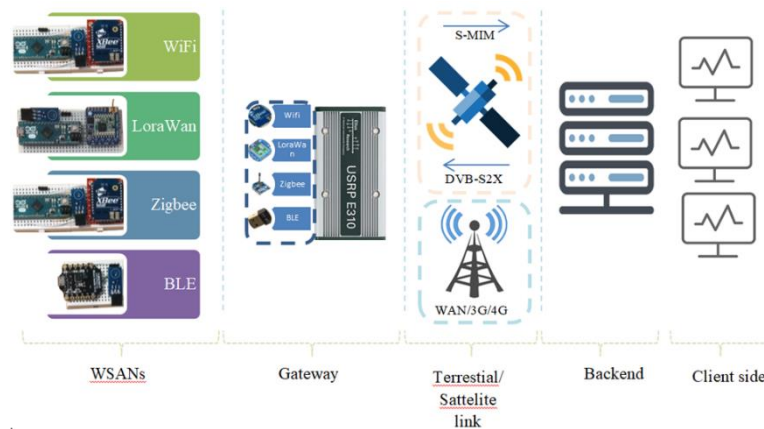


Figura 34 Arhitectură generică sistem STARGATE-MIPS

Rețelele de senzori/actuatori fără fir (WSAN) permit măsurarea automată a variabilelor de mediu precum și controlul anumitor aspecte ale mediului înconjurător prin intermediul senzorilor/actuatorilor distribuiți - autonomi sau direct controlabili. STARGATE-MIPS oferă suport pentru WSANs bazate pe următoarele protocoale (specifice aplicațiilor M2M/IoT): LoRaWan, BLE, IEEE 802.11 și ZigBee IEEE 802.15.4.

Pentru a oferi un grad de abstractizare față de protocolul de comunicație utilizat la nivelul legăturilor de date, atât nodurile WSAN, cât și portalul folosesc protocolul MQTT-SN (la nivel sesiune).

Controlul de la distanță și transmiterea datelor obținute de la WSANs sunt asigurate atât prin intermediul unei legături satelit (DVB-S2X *forward link* respectiv S-MIM *return link*), cât și prin intermediul unei legături terestre (IP WAN/3G/4G).

Pe partea de client, sistemul pune la dispoziție o aplicație web ce poate fi accesată prin intermediul oricărui dispozitiv conectat capabil să ruleze un browser (laptop, tabletă sau telefoane inteligente). Prin intermediul acesteia utilizatorul poate monitoriza și controla de la distanță nodurile din cadrul WSANs precum și portalul.

5.4.1 Rețele de senzori și actuatore fără fir (WSAN)

Elementul de bază al unei rețele WSAN este nodul (de tip senzor și/sau actuator). Generic, acesta este constituit din patru componente principale **Error! Reference source not found.**: modulul de alimentare (PSU – Power Supply Unit), senzorul/actuatorul propriu-zis, platformă SBM (Single Board Microcontroller) și transmițătorul/receptorul fără fir (Wireless Transceiver).

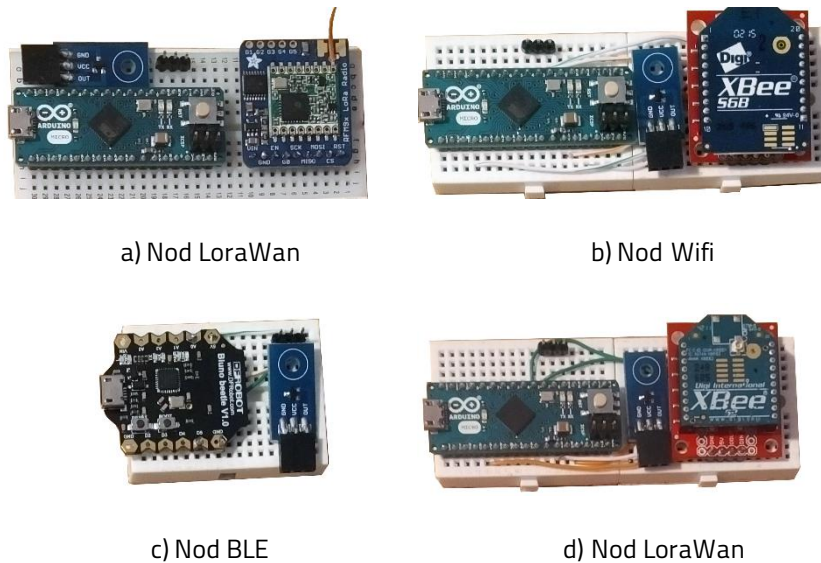


Figura 35 Noduri WSAN

Pornind de la arhitectura de bază a unui nod WSAN, în cadrul sistemului STARGATE-MIPS au fost dezvoltată o serie de senzori prototip pentru fiecare protocol în parte (Figura 35 a, b, c, d).

5.4.2 Arhitectură și principiu de funcționare

Portalul STARGATE-MIPS este implementat în cadrul platformei portabile USRP E310. Această platformă a fost aleasă deoarece oferă o soluție compactă pentru aplicații SDR încorporate, având atât un FPGA de mare viteză pentru modularea/demodularea semnalelor radio, cât și un nucleu procesor încorporat în FPGA de mare viteză capabil să ruleze Embedded Linux și GNURadio.



Figura 36 Portal STARGATE-MIPS – componente software

Principiul de funcționare al portalului poate fi descris pornind de la componentele software prezentate în Figura 36. Pentru a asigura comunicarea dispozitiv-dispozitiv / dispozitiv-factor uman, portalul folosește o abordare bazată pe protocoalele MQTT/MQTT-SN, ambele special concepute pentru a fi folosite în medii cu restricții în ceea ce privește lățimea de bandă disponibilă, puterea de procesare și puterea consumată.

De asemenea, în cadrul portalului a fost implementat și un client MQTT local utilizat pentru a stoca, temporar, într-o bază de date locală, informații cu privire la senzorii activi precum și datele obținute de la acești senzori.

Portalul pune la dispoziție și un server HTTP prin intermediul căruia un client extern:

- poate accesa informații cu privire la locația portalului, la senzorii activi precum și la datele efective obținute de la senzori;
- poate controla nodurile care dispun de actuatori.

Pentru asigurarea legăturii satelit bidirecțională, portalul dispune de un transmițător S-MIM și de un receptor DVB-S2(X). Ținând cont de faptul că serverul HTTP este componenta care servește propriu-zis cererile venite de la aplicația client, portalul trebuie să asigure mecanismele necesare pentru transmiterea și recepționarea datagramelor IP prin intermediul legăturii satelit. Pentru aceasta, portalul dispune de o interfață de rețea virtuală (TUN/TAP) și de un strat de adaptare care asigură funcționalități de încapsulare/decapsulare a datagramelor IP: RLE Encapsulator pentru legătura sol-satelit și GSE decapsulator pentru legătura satelit-sol.

5.4.3 Modem DVB-S2/X pentru legătura descendentă (downlink)

Pentru legătura descendentă interfața radio de referință este DVB-S2/X.

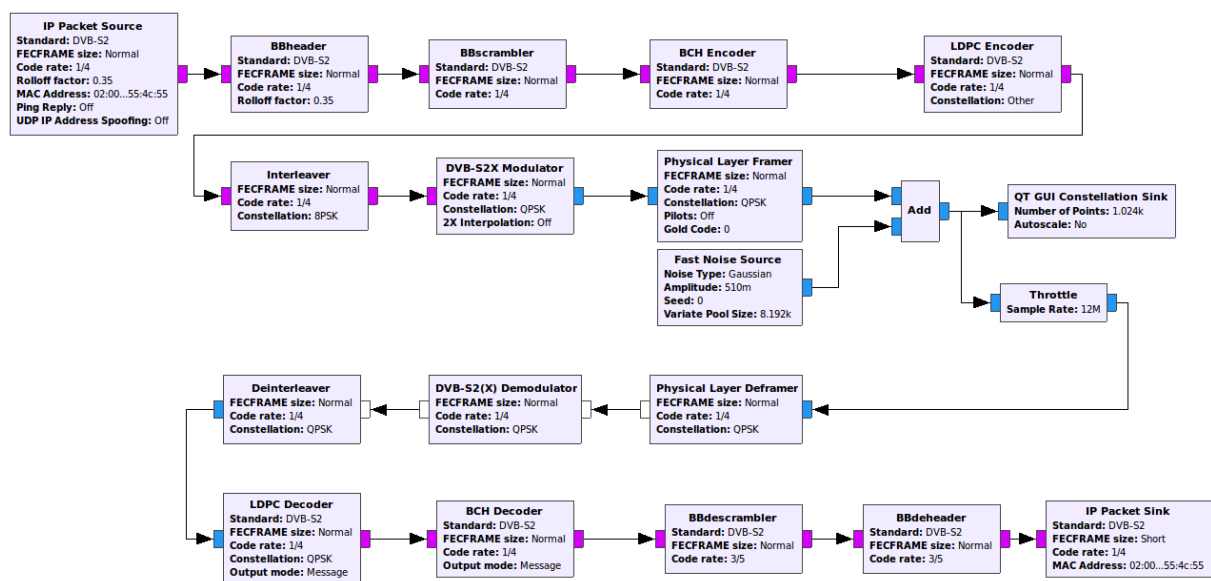


Figura 37 Simulator DVB-S2/X TX-RX

Luând în considerare necesitățile de viteză redusă de date pe legătura *outbound*, în loc de a avea o purtătoare de bandă largă întreagă dedicată unui serviciu, poate fi luată decizia de a utiliza o parte redusă a multiplexului DVB-S2.

Raportat la specificațiile standardului DVB-S2/X, am conceput o primă versiune a demodulatorului, prezentată în Figura 37.

Se poate observa prezența atât a componentelor specifice transmițătorului, cât și a celor specifice receptorului, prezența acestora fiind motivată de proiectarea pe blocuri și de necesitatea validării schemei dezvoltate.

5.4.4 MODCOD optim

Raportat la implementarea actuală am determinat dimensiunea maximă a mesajului de control ca fiind 158 bytes. Luând în considerare eventuale dezvoltări ulterioare, dar și optimizări viitoare a structurii mesajului, am concluzionat că o dimensiune maximă de **500 bytes** asigură cerințele necesare. Dimensiunea mesajelor de control fiind mică, pentru a determina MODCOD-ul optim se pot stabili deja câțiva parametri:

- Mecanismul de corecție a erorilor: maxim posibil raportat la tipul de constelație
- Factor Roll off: 0.2
- Cadru FEC: scurt

Având în vedere dimensiunile mici ale pachetelor de control, o rată netă de 500 kbps este suficientă pentru a satisface cerințele sistemului. Așadar, variantele optime ar fi:

- MODCOD 1 – QPSK, 1/4 FEC, 400 kSym/s
- MODCOD 12 – 8PSK, 3/5 FEC, 400 kSym/s

Ambele MODCOD-uri oferă o rată netă de date suficientă, iar banda ocupată este relativ asemănătoare, în schimb, MODCOD 1 permite utilizarea unui FEC mai mare și necesită mai puține resurse computaționale. În urma analizei efectuate, MODCOD 1 a fost ales ca variantă optimă pentru sistemul STARGATE.

5.4.5 Integrare modul DVB-S2/X cu portalul terestru

În urma deciziei de a utiliza GSE ca și protocol de încapsulare a rezultat blocul *IP Packet Sink* (corespondentul blocului IP Packet Source de la transmițător) capabil să de-capsuleze fluxul GSE și să transmită pachetele IP către o interfață de tip TAP.

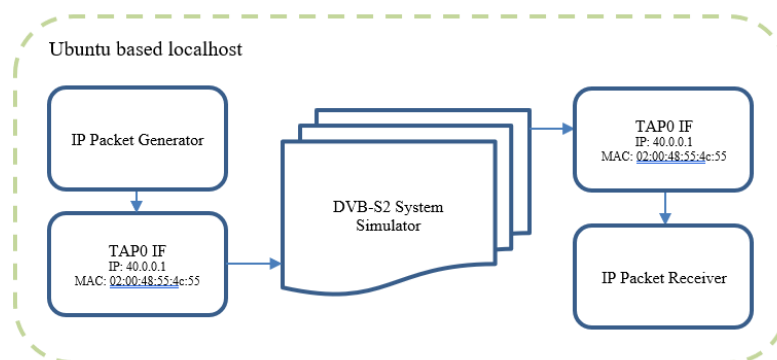


Figura 38 Sistem local de testare GSE peste DVB-S2

Pentru a integra ieșirea receptorului DVB-S2 cu partea terestră am dezvoltat inițial un sistem local de testare prezentat în Figura 38.

Acesta este compus din sistemul de simulare DVB-S2 prezentat în Figura 37. Pe partea de transmisie, a fost creată interfața TAP0, iar blocul IP Packet Source a fost configurat astfel încât toate pachetele care trec prin interfața TAP0 să fie încapsulate GSE și transmise mai departe peste legătura DVB-S2.

Pe partea de recepție, blocul *IP Packet Sink* a fost configurat să transmită toate pachetele extrase din fluxul GSE către interfața TAP1.

Integrare în USRP E310

În urma testelor efectuate am concluzionat că partea de încapsulare/de-capsulare GSE este complet funcțională și am extins implementarea în cadrul platformei USRP E310 în concordanță.

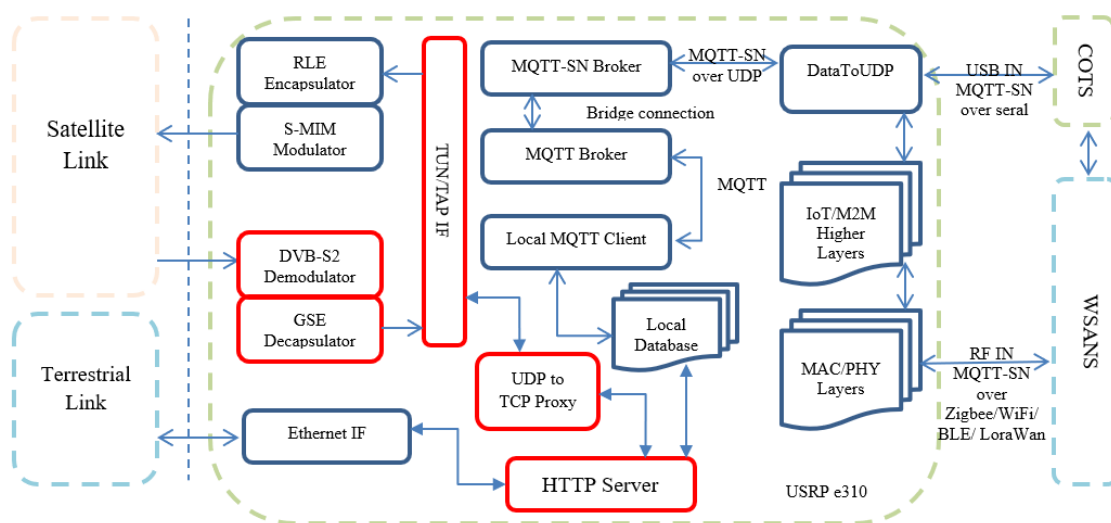


Figura 39 Portal STARGATE-MIPS – integrare modul DVB-S2/X

Componenta principală care asigură integrarea receptor DVB-S2/X – parte terestră este de fapt un proxy UDP-TCP care, practic, translatează pachetele UDP obținute de la interfața TAP în pachete TCP care sunt transmise mai departe către server-ul HTTP local, urmând ca mai apoi să fie încapsulate MQTT / MQTT-SN și transmise către rețele WSAN.

5.4.6 Aplicația client

Aplicația client pune la dispoziție o interfață grafică web prin intermediul căreia utilizatorul poate vizualiza informații cu privire la portal și nodurile WSAN.

De asemenea, tot prin intermediul acesteia, utilizatorul poate controla orice nod care dispune de un actuator.

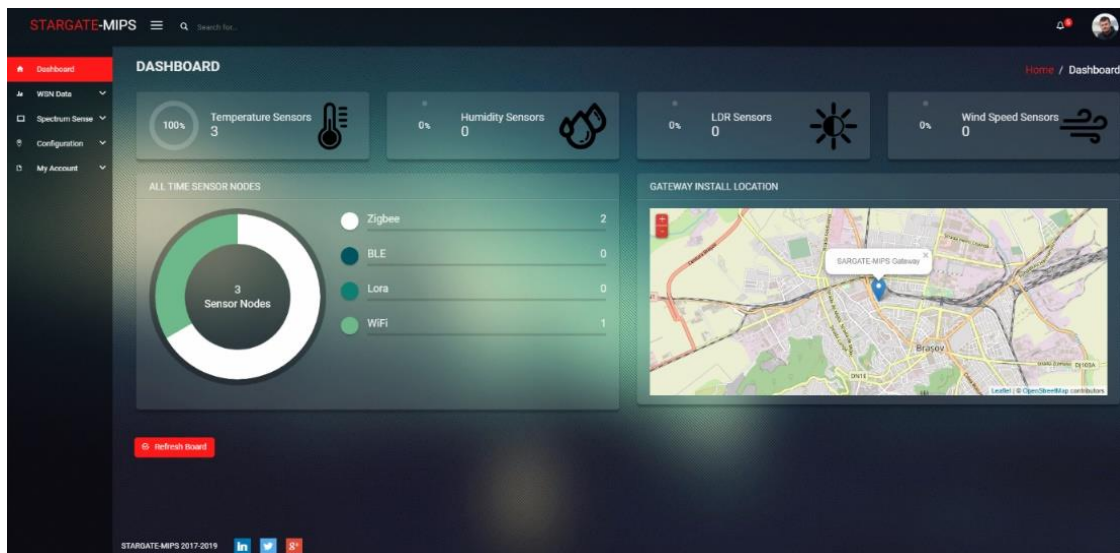


Figura 40 . Aplicația client – pagina principală

La pornirea aplicației, aceasta prezintă pagina principală care oferă informații cu privire la nodurile WSAN disponibile, clasificate în funcție de tipul de senzor disponibil și de protocolul de comunicare utilizat. De asemenea este prezentată și o hartă care afișează locația curentă a portalului.



Figura 41 Pagina Zigbee

Pentru fiecare protocol de comunicare pentru care se oferă suport, aplicația creează automat o pagină diferită în care sunt prezentate informații detaliate despre traficul din cadrul rețelei WSAN care utilizează respectivul protocol precum și informații despre fiecare nod al rețelei.

5.4.7 Re-configurabilitate și securitate

Re-configurabilitatea este unul dintre aspectele cheie ale arhitecturii propuse, pentru care am definit un set de mecanisme care permit reconfigurarea atât prin satelit sau legături terestre, atât de la distanță, cât și la fața locului, prin intermediul componentei *Runtime and Management*.

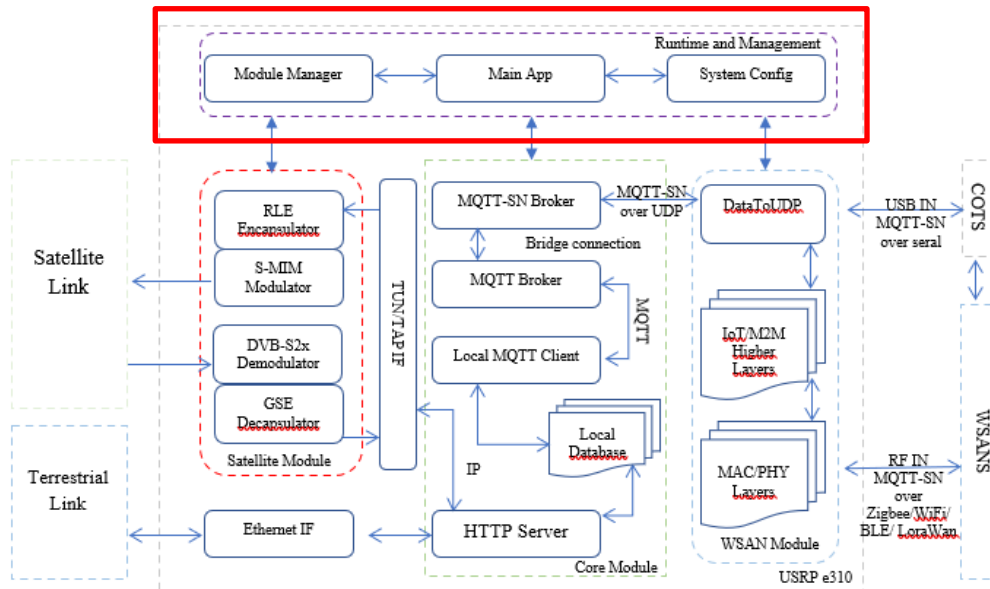


Figura 42 STARGATE-MIPS - mecanism reconfigurare

Mecanismul de re-configurabilitate este ilustrat în Figura 42. Legătura de date poate fi, după cum s-a menționat anterior, satelitară sau terestră.

Problemele de securitate care pot apărea sunt accesul neautorizat la portal și transmiterea de software rău intenționat (malware) în timpul fazei de reconfigurare. Accesul prin satelit la portal este acordat printr-o interfață web (Figura 40) care implementează un acces bazat pe acreditări și permite conexiuni numai pentru un set restricționat de IP-uri. Toate sarcinile utile sunt criptate Triple DES (*Data Encryption Standard*).

Procesul de actualizare (*“upgrade”*) de software prin satelit a fost efectuat inițial prin HTTPS peste GSE, dar procedura de *handshake* SSL / TLS a cauzat întârzieri suplimentare. Prin urmare, am optat pentru HTTP simplu peste GSE cu sarcinile utile criptate folosind mecanismul Triple DES cu cheie simetrică. Același mecanism de acces este aplicat în cazul accesului la legături terestre. În plus, în acest caz, accesul este permis și printr-o conexiune MQTT directă, atât timp cât sunt furnizate credențiale valide (nume de utilizator și parolă).

5.4.8 Integrare, testare și validare în mediul de laborator

Pentru a efectua testele de laborator up- și downlink, a fost implementat sistemul prezentat în Figura 43. Emițătorul și receptorul de testare sunt implementate în cadrul a două platforme USRP E310 SDR identice. Prima platformă SDR rulează implementarea GNU Radio a unui emițător DVB-S2X și a unui receptor E-SSA. Partea sa RF este conectată printr-un cablu coaxial cu impedanță de 50 ohmi și un atenuator de 30 dB la dispozitivul testat, adică portalul implementat pe a doua platformă USRP, așa cum este prezentat în Figura 43.

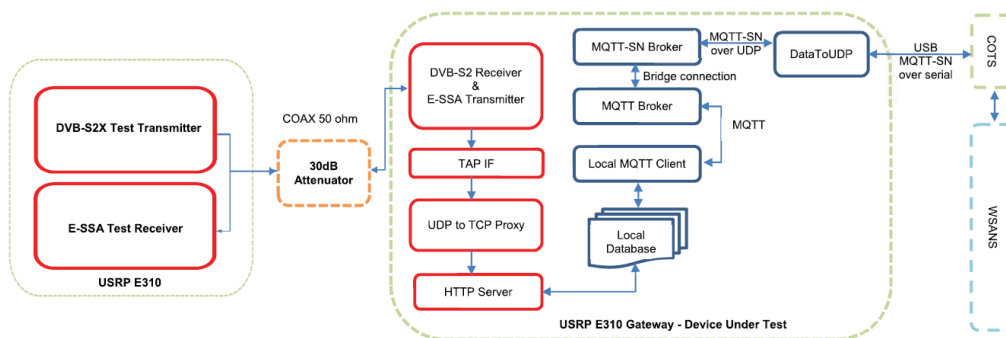


Figura 43 Sistem de testare în laborator

Pentru validarea conformității cu standardul DVB-S2X, dar și pentru evaluarea performanței, au fost implementate o serie de teste automate. Componentele sistemului automat de testare, sunt prezentate în Figura 44.

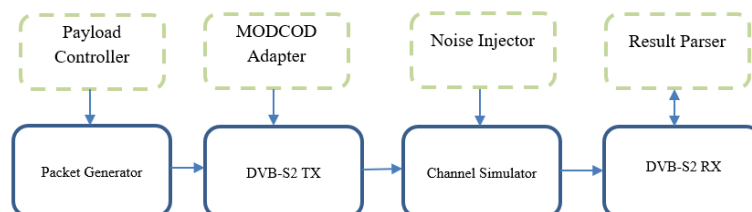


Figura 44 Sistem testare automată DVB-S2 RX

Suita de teste automate cuprinde:

- 28 de teste de funcționalitate pentru fiecare MODCOD utilizând cadre scurte
- 28 de teste de funcționalitate pentru fiecare MODCOD utilizând cadre normale
- 8 teste de performanță pentru diverse MODCOD-uri și valori ale SNR

Teste de integrare

Testele de integrare verifică funcționarea modulelor de prelucrare internă interconectate, furnizând informații privind performanța pe baza unei arhitecturi de testare descrise în Figura 45.

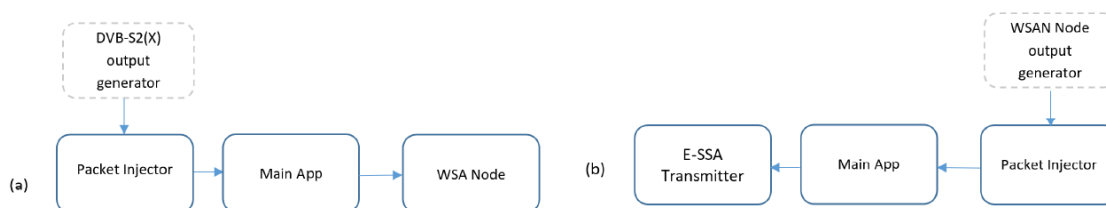


Figura 45 Arhitectură teste de integrare

Rezultatele testelor de integrare au permis evaluarea latenței de procesare cap-la-cap a portalului, valoarea medie fiind de 121 ms pentru 1000 de pachete de date transmise.

Teste de re-configurabilitate

Pentru a asigura că mecanismele de re-configurabilitate sunt pe deplin funcționale, a fost efectuat un set de teste manuale. Accentul a fost pus pe încărcarea unui nou modul de satelit, care ar oferi suport pentru un set diferit de protocoale uplink/downlink. Deoarece implementările modulatorului

și demodulatorului erau deja disponibile atât pentru protocoalele DVB-S2X, cât și pentru protocoalele E-SSA, a fost definit și executat un scenariu de testare a în cadrul căruia protocoalele au fost interschimbate protocolului.

Teste de tip *unit*

Ultimele teste funcționale efectuate au fost testele de integrare tip *unit* necesare pentru verificarea bunei implementări și funcționării a modulelor individuale. Am integrat codul software implementat atât pentru legăturile up-, cât și downlink cu mediul GitLab Continuous Integration/Continuous Development (CI/CD) și am definit o suită de 70 de teste automate care acoperă punctele cheie ale modulelor componente.

5.5 Sumarul capitolului

Comunicațiile mașină-mașină (M2M) și Internet of Things (IoT) se bazează în prezent în principal pe comunicații terestre cu rază scurtă de acțiune încorporate în cadrul unor dispozitive fără fir accesibile și de mică putere. Avantajele utilizării acestui tip de comunicații are implicații pozitive atât în mediul economic, cât și în cel social. Dar pe măsură ce numărul acestui tip de dispozitive va depăși ordinul miliardelor, legăturile terestre nu vor mai fi suficiente pentru a satisface nevoia de conectivitate fiabilă, de încredere și disponibilă oriunde, oricui și oricând. Astfel, în prima parte a acestui capitol am prezentat rolul legăturilor satelitare în contextul M2M/IoT precum și cel al dispozitivelor de tip SDR – ca portal hibrid de management, control și acces.

Partea a doua a acestui capitol prezintă rezultatele soluției dezvoltate în cadrul proiectului STARGATE-MIPS (SDR-based Terrestrial Gateway for M2M and IoT Applications) - Programul de Cercetare, Dezvoltare și Inovare pentru Tehnologie Spațială și Cercetare Avansată – STAR (proiectul STAR CTR 147) care s-au concretizat în demonstratorul M2M/IoT hibrid STARGATE-MIPS (TRL 5). Demonstratorul reprezintă o soluție de conectivitate prin satelit pentru aplicațiile M2M/IoT/IoRT, implementată pe un singur dispozitiv care acționează ca un portal între laturile terestre și cele prin satelit. Scopul principal al implementării adoptate a fost de a reduce semnificativ costurile hardware și de implementare, asigurând, în același timp, un grad ridicat de configurabilitate prin utilizarea tehnologiilor SDR.

Testarea în laborator a întregului sistem a validat arhitectura aleasă și soluțiile utilizate pentru implementarea acesteia pe platforma SDR independentă. Deși preliminară și aflate încă în etapa de testare în mediu simulat, rezultatele obținute au confirmat implementarea corectă și eficace bazată pe SDR a funcționalităților portalului și au demonstrat pe deplin capacitățile de reconfigurare a arhitecturii propuse. Testele de integrare au confirmat fiabilitatea cap-la-cap (*“end-to-end”*) de prelucrare a informațiilor efectuate de către portal în timp real.

În cele din urmă, testele de integrare tip *unit* au validat implementarea și funcționarea modulelor SDR independente.

Capitolul 6. Convergența IoT-OTT-TV

Convergența și unificarea au un rol semnificativ în procesul de a armoniza și a îmbunătăți calitatea experienței utilizatorului (QoE) prin noi servicii care transcend limita impusă până acum de dispozitivele client și de modelele clasice de consum.

6.1 Rolul sistemelor TV în IoT

Majoritatea dispozitivelor IoT utilizează protocoale specifice care se caracterizează, în primul rând, printr-un consum redus de energie și de cele mai multe ori au nevoie de un dispozitiv de tip hub pentru a se conecta cu mediul extern (de obicei o platformă bazată pe Cloud). De cele mai multe ori, un astfel de dispozitiv este independent și dispune de propria interfață de management și control ceea ce fragmentează experiența utilizatorului. Dar, utilizând o abordare sinergică, astfel de funcționalități pot fi acoperite în întregime de către sistemul TV.

6.1.1 Stocare și procesare de informații

Stocarea și procesarea de informații reprezintă un rol nou pentru televizorul care preia datele de la utilizator și senzori. În [123] autorii descriu un exemplu în care un DVD player deține filmele utilizatorului. În contextul IoT, dispozitivul smart TV poate fi utilizat în mod similar, dar îmbunătățit: utilizatorul își păstrează colecția de filme și muzică în cadrul sistemului TV, eliberând spațiu ocupat pe laptop sau alte dispozitive. Un alt beneficiu este posibilitatea de a accesa aceste date de pe orice dispozitiv conectat la rețeaua locală: laptop, desktop, smartphone, tablete, alte televizoare.

6.1.2 Sistem central de vizualizare

Un alt mod de a utiliza avantajele ecranului mare al televizorului este vizualizarea conținutului de pe dispozitivele locale cu ecrane mai mici, cum ar fi smartphones și tabletele. De exemplu, utilizatorul deschide meniul TV și navighează prin dispozitive, cum ar fi laptopul sau tableta utilizatorului.

Sistemul TV este o modalitate ușoară pentru oaspeți prin care aceștia pot partaja diverse fluxuri video de pe dispozitivele lor, singura cerință fiind conectarea la aceeași rețea. De exemplu, oaspetele apasă butonul "Partajare la TV" de pe smartphone și sistemul TV afișează un dialog, care avertizează cu privire la fișierul de intrare și permite acceptarea sau refuzarea acestuia.

6.1.3 Portal central de interacțiune

Sistemul TV acționează ca punct central de interacțiune cu infrastructura IoT. În [125] autorii au sugerat utilizarea televizorului ca și controler pentru iluminarea camerei, dar această funcționalitate se poate extinde facil către gestionarea altor comutatoare și actuatori din mediul local (ex: regulatoare de temperatură). De exemplu, utilizatorul se uită la televizor și temperatura scade, așa că folosește telecomanda TV pentru a intra în meniul de gestionare a locuinței sau chiar transmite o comandă vocală sau de gesturi pentru a modifica temperatura.

Pentru a acționa în acest rol, este necesar ca sistemul TV să aibă cel puțin una dintre diferitele opțiuni de control, cum ar fi telecomanda, gesturile, intrarea vocală sau alte dispozitive și capacitatea de a se integra cu alte dispozitive.

6.1.4 Releu (colector/furnizor) local date

Acest rol presupune utilizarea sistemului TV ca unitate de calcul externă pentru alte dispozitive. Datorită dimensiunilor sale mari, este ușor de încorporat o unitate de procesare puternică. De asemenea, după cum se menționează în [126], sistemul TV este aproape întotdeauna conectat la rețeaua de alimentare.

Prin urmare, cu utilizarea anumitor aplicații concepute pentru a utiliza această oportunitate, televizorul poate acționa ca procesor de date extern pentru alte dispozitive pentru a accelera calculele și a reduce consumul de energie.

6.2 Inteligența artificială (IA) în televiziunea digitală

Inteligența artificială este foarte utilă atunci când se dorește digitalizarea de capacități cognitive în cadrul cărora este greu de definit sau explicat reguli. Un exemplu de utilizare răspândit al IA este recunoașterea facială. Încercarea de a utiliza cunoștințele realizate manual pentru a defini și a implementa în cod toate regulile necesare pentru a efectua recunoașterea facială este o abordare denumită primul val de IA ("sursă"). Dar, cu tehnologiile și mecanismele emergente precum învățarea automată sau învățarea profundă, această abordare manuală nu mai este foarte fezabilă.

6.2.1 IA aplicată în sistemele TV

Pe măsură ce IA începe să fie încorporată în sistemele TV, utilizatorii pot folosi aceste dispozitive într-un mod mai convenabil. De exemplu, televizorul Samsung QLED recunoaște automat dispozitivele set-top box, consolele de jocuri și alte electronice periferice. În loc să utilizeze termeni tehnici sau denumiri abstracte (de exemplu HDMI) pentru a afișa ce dispozitiv este conectat, acesta utilizează numele efectiv al produsului (de exemplu: PlayStation) și sigla acestuia. Cu această asistență inteligentă, utilizatorii nu mai au nevoie de setări complexe pentru a -și folosi sistemele TV.

6.2.2 Interacțiune vocală

Poate cea mai răspândită aplicație de inteligență artificială în sistemele TV este asistentul virtual. De exemplu, disponibil pe televizoarele Android și nu numai, asistentul Google permite utilizarea de comenzi vocale pentru a reda emisiunile preferate, pentru a obține răspunsuri la diverse întrebări și pentru a controla diferite elemente din mediul local.

6.2.3 Recunoașterea scenelor și conținutului video în timp real

Hisense a prezentat noul său sistem de televiziune cu inteligență artificială - "VIDAA-AI". Hisense a făcut echipă cu Yi+, un start-up chinez de inteligență artificială specializat în dezvoltarea tehnologiei de viziune automată pentru marketing de conținut.

Așadar, nu numai că se oferă un asistent IA, la fel ca Google, dar se propune și o platformă de publicitate inteligentă bazată pe recunoașterea obiectelor în timp real. Un aspect impresionant la acest sistem este faptul că poate găsi automat anumite secțiuni de conținut video pe baza unei descrieri vocale și poate genera clipuri scurte într-un mod algoritmic.

6.2.4 Livrarea de conținut multimedia raportată la condiții și context

IA poate fi utilizată pentru a recunoaște automat degradările de calitate, anomaliile platformei și alte situații de livrare video care necesită atenție (un aspect critic din perspectiva furnizorilor).

Prin detectarea modelelor, a analizelor avansate, a sistemului inteligent de alertă și de gestiune a răspunsului, se pot îmbunătăți instrumentele de monitorizare și se pot crea alerte intuitive și utile care adaugă context, precum și cauze și rezoluții. Astfel se asigură un răspuns rapid și se accelerează luarea deciziilor.

6.3 Unificarea experienței utilizatorului – Soluții pentru mediul inteligent local

Televiziunea a căpătat un caracter ubicuu în contextul mediilor locale și are un rol foarte important în livrarea de conținut multimedia utilizatorilor finali. Cele mai recente evoluții tehnologice permit integrarea facilă între serviciile de difuzare și cele de bandă largă, astfel televiziunea și sistemele TV au câștigat și mai multă popularitate. O altă paradigmă anunțată ca "noua tendință" în tehnologie este conceptul de casă inteligentă care implică conectarea diferitelor aparate domotice la un portal central prin intermediul căruia un utilizator le poate controla și monitoriza diferite aspecte. Conceptul de Casă Inteligentă – SH (*Smart Home*) este de obicei asociat cu paradigma Internet of Things (IoT). Cu toate acestea, conceptul SH pare să fie fragmentat, deoarece utilizatorul este adesea constrâns să utilizeze diverse mecanisme sau platforme în mediul local pentru a avea acces și a interacționa cu toate dispozitivele.

6.3.1 Portal IoT hibrid

Portalul hibrid IoT propune o arhitectură care unifică mediul SH, telefonul inteligent al utilizatorului și sistemul TV pentru a permite consumatorului să utilizeze ecranul TV ca interfață unică cu mediul înconjurător în ceea ce privește notificările, controlul și interacțiunea. Arhitectura propusă are ca scop integrarea telefonului inteligent al consumatorului și mediul SH cu un sistem HbbTV prin utilizarea standardului HbbTV 2.0 Companions Screen (CS) și Multimedia Sync (MS).

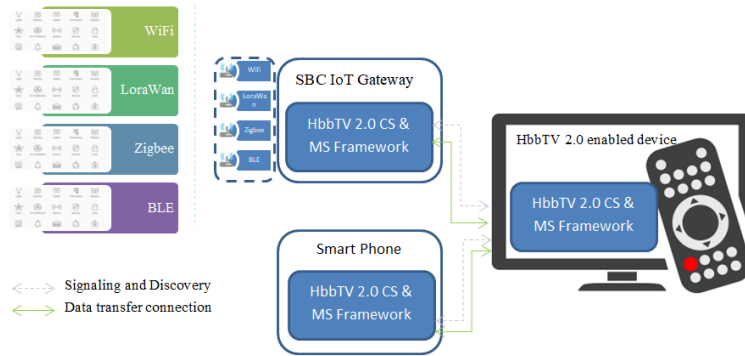


Figura 46 Arhitectură propusă pentru portalul IoT hibrid

Portalul local SH (IoT) acționează ca un manager pentru toate dispozitivele IoT disponibile în mediul local, cum ar fi: comutator inteligent de lumină, draperii inteligente, sistem de încălzire, video-interfon IP, iluminare ambientală, etc. Acesta oferă suport pentru majoritatea protocoalelor specifice IoT (de exemplu, Zigbee, BLE sau LoRa), acoperind astfel o gamă largă de dispozitive IoT furnizate de diverși producători. Portalul acționează, de asemenea, ca un dispozitiv Companion Screen (CS), care îi permite să fie descoperit de sistemul HbbTV (televizor sau STB cu suport HbbTV integrat). Pentru telefoanele inteligente bazate pe Android, soluția oferă o aplicație nativă care permite dispozitivului să acționeze ca și CS.

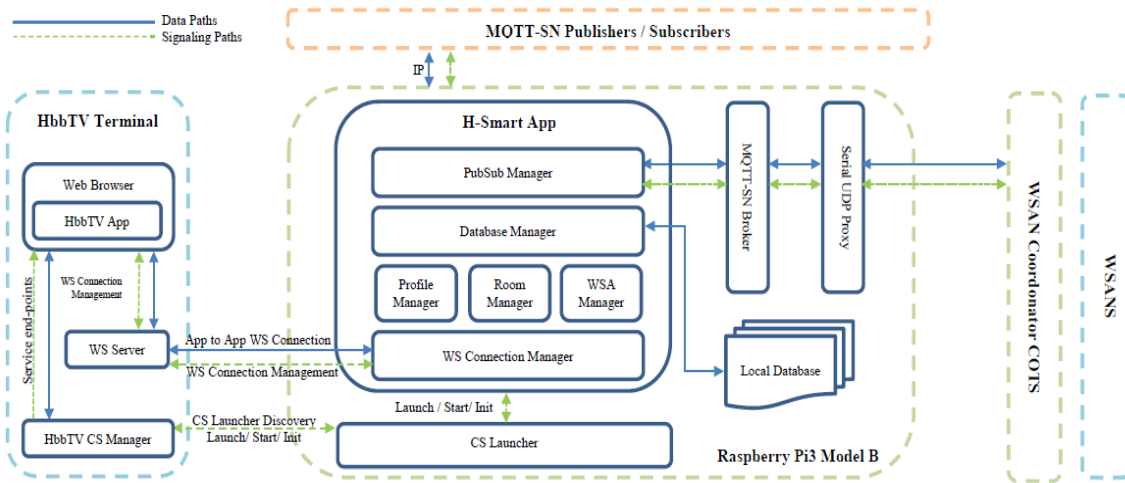


Figura 47 Arhitectura SW/HW a portalului propus

Portalul local SH (IoT) (Figura 47) acționează ca manager pentru toate dispozitivele IoT disponibile în mediul SH. Comunicarea bidirecțională între WSANs utilizează MQTT - SN (MQTT pentru rețelele de senzori) - un protocol de tip publicare/abonare special conceput pentru mediile limitate în care consumul redus de energie/lățime de bandă și performanța sunt esențiale.

Din perspectiva MQTT - SN, portalul acționează ca un *broker* care procesează datele primite de la noduri, independent de protocoalele de comunicare implicate.

Nodurile senzorilor acționează ca "publisher" pentru transmiterea ("publicarea") datelor senzorilor către portal, precum și ca „subscriber” ("abonat") pentru primirea comenzilor de la portal.

Pentru transmiterea datelor din aplicația HbbTV către WSANs, portalul SH oferă o punte internă WebSocket - MQTT.

Portalul SH a fost implementat în cadrul a două dispozitive: un Raspberry Pi 3 și un USRP E310 - platforme bazate pe ARM care rulează distribuții Linux. Ambele oferă aceleași funcționalități, dar, deoarece USRP este o platformă SDR, are avantajul de a oferi suport pentru protocoalele IoT direct prin interfața RF încorporată, fără a fi nevoie de dispozitive de tip COTS (Commercial Off-The-Shelf). În plus, oferă o flexibilitate sporită, deoarece suportul pentru protocoale fără fir specifice IoT suplimentare poate fi furnizat printr-o simplă actualizare software preluată de pe serverele operatorului, nefiind necesare componente hardware suplimentare.

6.3.2 WSAN în contextul domotic

Stratul WSAN este format din noduri capabile să:

- colecteze informații de la diferite tipuri de senzori (temperatură, umiditate, presiune, gaz etc.);
- trimite date către portal;
- efectueze acțiuni primite de la portal (controlul/acționarea releu).

În cadrul soluției propuse am implementat și integrat următoarele noduri:

- Zigbee: noduri de temperatură, umiditate și senzor de mișcare
- BLE: nod senzor de intensitate a luminii și nod de control al luminii ambientale
- LoRa: jaluzele și noduri de control AC (aer condiționat)

Din punct de vedere hardware, un nod este format dintr-o unitate de alimentare, un SBM (Single Board Microcontroller), un senzor și/sau actuator și un dispozitiv de emisie-recepție fără fir. Din punct de vedere software, a fost utilizată o abordare de tip *pseudo-thread* în care fiecare sarcină este efectuată într-un pseudo-fir de execuție separat.

6.3.3 Clienții mobili

Soluția implementată oferă suport și pentru clienții mobili. Abordarea pentru stabilirea conexiunii și schimbul de mesaje între clientul mobil și terminalul HbbTV este similară cu abordarea utilizată în cazul portalului SH.

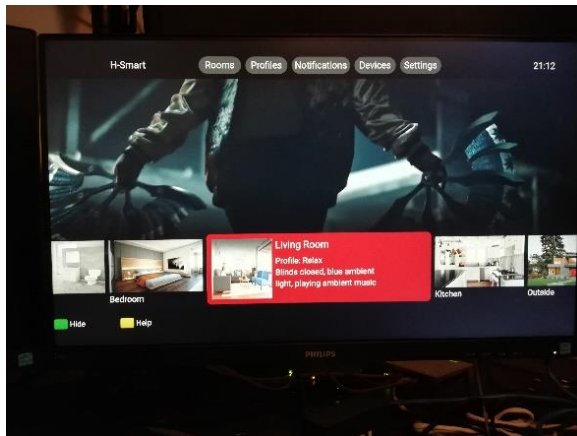
Un modul CS Launcher care rulează pe telefonul inteligent permite terminalului HbbTV să descopere telefonul inteligent și să lanseze aplicații native. După lansarea aplicației native, se stabilește o conexiune de tip WebSocket care permite schimbul de mesaje de date între terminalul HbbTV și telefonul inteligent.

6.3.4 Aplicații HbbTV

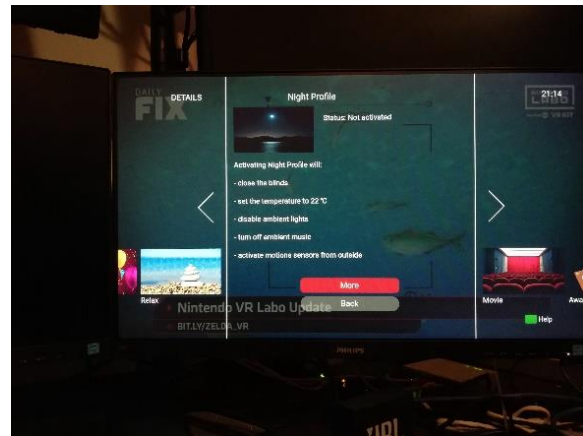
Aplicația HbbTV este piesa centrală a soluției propuse. Aceasta acționează ca un hub central care gestionează toate dispozitivele SH, precum și evenimentele clienților *thin* și prezintă toate informațiile necesare consumatorului, printr-o interfață grafică de tip panou de bord, oferind în același timp acces la conținutul difuzat (de exemplu, în timp ce afișează panoul de bord în prim-plan, serviciul de difuzare selectat rulează în fundal).

Aplicația utilizează următoarele caracteristici ale standardului HbbTV:

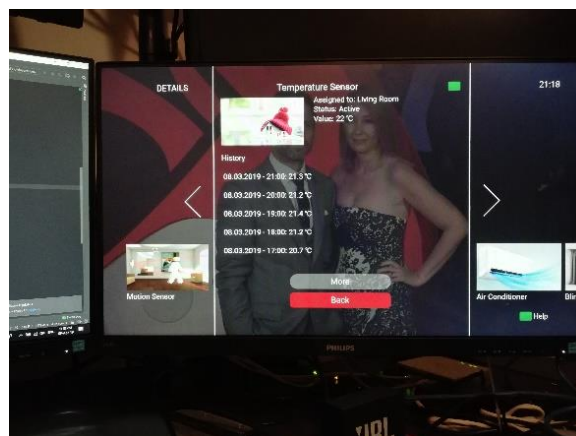
- Descoperire: găsește dispozitive HbbTV CS în rețeaua locală (portalul SH sau smartphone)
- Lansare: Invocă pornirea unei aplicații pe dispozitivul CS
- Comunicarea aplicație-la-aplicație: asigură schimbul de mesaje între aplicațiile care rulează pe sistemul TV și dispozitivele companion (CS).



a) Aplicația HbbTV – selectare cameră de interes



b) Aplicația HbbTV – prezentare profil nocturn



c) Aplicația HbbTV – prezentare informații senzor de temperatură

Figura 48 Aplicația HbbTV - panouri principale și secundare

Aplicația HbbTV implementată își propune să fie intuitivă, configurabilă și ușor de utilizat, astfel oferă o serie de caracteristici, cum ar fi:

- afișare detalii în funcție de cameră (Figura 48 a): oferă o clasificare bazată pe camere a nodurilor WSAN. În prezent, aplicația oferă 5 camere predefinite: living, dormitor, bucătărie, baie și o "cameră" exterioară care se ocupă de toate dispozitivele exterioare (de exemplu, senzori de mișcare);
- profiluri predefinite (Figura 48 b): permite manipularea diferitelor dispozitive SH prin apăsarea unui singur buton care lansează o schemă de automatizare definită de utilizator. De exemplu, după cum se poate observa în Figura 48 b, activarea profilului nocturn va închide jaluzelele, va

seta temperatura la 22°C, va dezactiva luminile ambientale, va opri muzica ambientală și va activa senzorii de mișcare exteriori. În prezent, aplicația oferă 5 profiluri predefinite: nocturn, zi, petrecere, deplasare și relaxare;

- vizualizarea informațiilor unui singur dispozitiv (Figura 48 c): oferă informații despre fiecare dispozitiv SH și permite controlul individual.



Figura 49 Poziționare notificări aplicație HbbTV

O altă caracteristică importantă a aplicației HbbTV este gestionarea notificărilor. După cum am menționat anterior, aplicația este capabilă să afișeze și să efectueze acțiuni suplimentare legate redarea fluxului A/V difuzat (dacă este cazul) pe baza notificărilor. Figura 49 b) și c) prezintă un apel și o notificare prin sms care provin de la smartphone. Figura 49 d) prezintă o notificare de alarmă provenind de la sistemul AC. Figura 49 a.1, b.1, c.1 și d.1 afișează o vizualizare mărită (zoom) a notificărilor afișate.

6.3.5 Asistentul virtual

Deoarece asistenții virtuali, cum ar fi Google Assistant sau Alexa de la Amazon, se bucură de un interes considerabil din partea utilizatorilor casnici, am făcut primii pași pentru a permite asistența / integrarea acestor asistenți cu soluția prezentată.

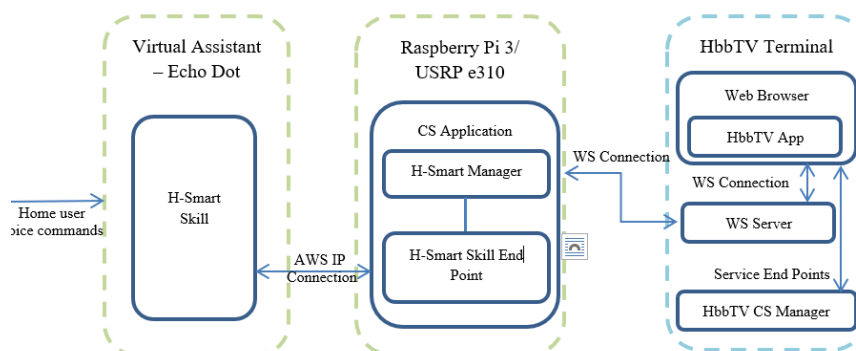


Figura 50 Integrarea asistentului virtual Alexa

O vedere generică a procesului de integrare este prezentat în Figura 50. Un Amazon Echo Dot Gen 2 (boxa inteligentă cu asistentul Amazon Alexa integrat) a fost folosit ca asistent virtual.

Acesta utilizează o abilitate (skill) personalizată pentru a controla terminalul HbbTV și dispozitivele SH prin intermediul portalului SH.

6.3.6 Demonstratorul e-Health

În contextul [272], o aplicație interesantă este integrarea mecanismelor de feedback ale utilizatorilor și a dispozitivelor de monitorizare a sănătății care ar putea permite întregului ecosistem de origine să participe activ la monitorizarea sănătății utilizatorilor și să raporteze unei unități centrale datele prelevate: de exemplu convulsii induse de conținutul video pentru subiecți care suferă de epilepsie fotosensibilă.

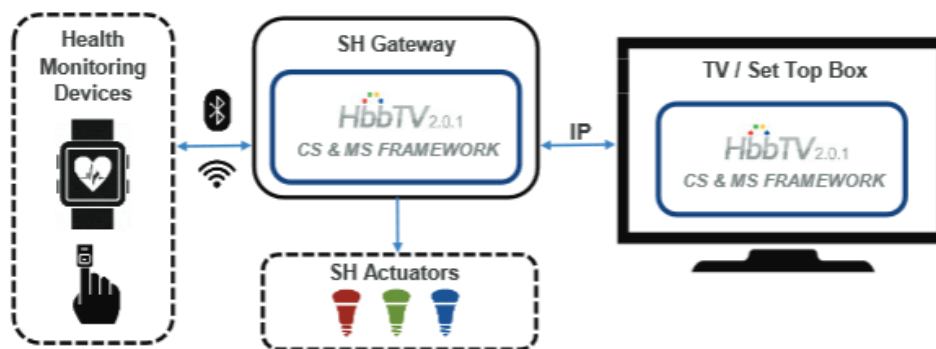


Figura 51 Arhitectura propusă pentru portalul SH pentru dispozitive de monitorizare a sănătății

Sistemul propus se bazează pe arhitectura menționată anterior și este prezentat în Figura 51. Portalul decide, pe baza algoritmilor implementați, să genereze o alertă pe ecran și/sau să redirecționeze o anumită alertă prin IP către un centru de control. Portalul poate controla, de asemenea, dispozitivele în mediul SH, și poate contracara în mod activ efectul ecranului TV pe patologii cunoscute, cum ar fi epilepsie fotosensibilă, prin pornirea în paralel a luminilor ambientale, prin suprapunerea unei măști semi-transparente pe ecranul televizorului [W-42] sau prin întreruperea fluxului video prin intermediul aplicației HbbTV [W-43].

6.4 Aspecte legate de securitate

Tehnologiile IoT conectează dispozitivele și oamenii printr-o varietate de moduri și sunt utilizate în toate industriile. De exemplu, IoT poate gestiona de la distanță toate termostatele din clădirile dintr-un oraș, poate opera vehicule autonome mai sigur și eficient sau poate controla eficient un parc fotovoltaic sau sute de turbine eoliene. Având în vedere toate tipurile diferite de dispozitive și volumul de date vehiculate, securitatea este o preocupare esențială. Firește, există o multitudine de aspecte ce trebuie luate în considerare, dar două dintre ele par a fi critice: actualizările software și traficul securizat.

6.4.1 Soluția Cloudflare Orbit

Cloudflare Orbit [W-44] oferă un grad securitate la nivel de rețea prin crearea unei conexiuni securizate și asigurarea unor mecanisme de autentificare între un dispozitiv IoT și serverul său de origine.

Orbit permite producătorilor de dispozitive să aplice instantaneu "corecții virtuale" și să blocheze vulnerabilitățile pe toate dispozitivele din rețea simultan. Acest lucru împiedică cererile malițioase să ajungă la dispozitive și oferă timp adițional pentru ca dezvoltatorii IoT să-și gândească cu atenție actualizările și împiedică scurgerile de date sau lansarea de atacuri de tip DDoS (*Distributed Denial-of-Service*) din cadrul dispozitivelor IoT.

6.4.2 Soluția Bitdefender BOX

Bitdefender BOX [W-45] este un dispozitiv inteligent care devine o necesitate atunci când în mediul local sunt prezente diferite dispozitive IoT. Ca "soluție de securitate cibernetică de tip all-in-one", integrată, asigură toate mecanismele necesare pentru a atinge un nivel de securitate satisfăcător și prezintă avantaje semnificative cu privire la costuri și timp în comparație cu o abordare axată pe a găsi soluții pentru a proteja fiecare dispozitiv în parte.

6.4.3 Integrare cu soluția SH

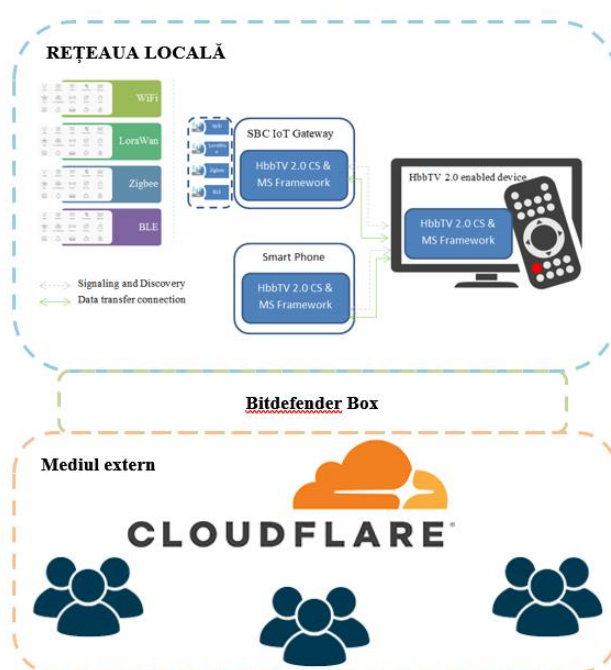


Figura 52 Integrare Bitdefender BOX, Cloudflare cu soluția SH

Figura 52 prezintă integrarea Bitdefender BOX și Cloudflare în cadrul soluției SH. În rețeaua locală, toate dispozitivele: sistemul TV HbbTV, smartphone, portalul SH, asistentul virtual și anumite noduri SH sunt conectate la Bitdefender BOX care asigură mecanismele de securitate la nivel de rețea.

6.5 Evaluarea subiectivă QoE

În această secțiune este prezentat mediul și rezultatele obținute în urma efectuării testelor de evaluare subiectivă QoE (Quality of Experience).

În plus, sunt analizate profilurile utilizatorilor, tipurile de videoclipuri și notificările de test, iar în cele din urmă, este descrisă procedura de evaluare. Participanții au fost invitați să răspundă întrebărilor privind experiența lor cu privire la efectele notificărilor în vederea individualizării celor cu impact pozitiv sau negativ în ceea ce privește: înțelegerea mesajului, poziția, aprobarea duratei, percepția sunetului, scopul principal fiind acela de a defini o configurație comună preferată.

6.5.1 Mediul de testare

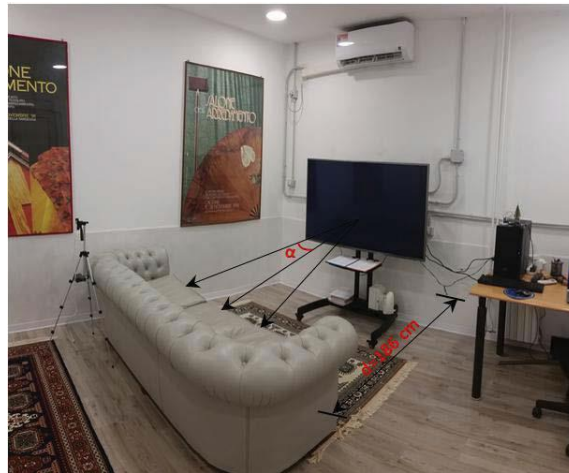


Figura 53 Laborator UniCa evaluare QoE

Am efectuat testele în cadrul Laboratorului QoE al Departamentului de Inginerie Electrică și Electronică (DIEE) al Universității din Cagliari, Italia. Laboratorul QoE este o cameră separată de 4 x 4 x 2,70 m (l x w x h) mobilată cu parchet, o canapea cu trei locuri și echipată cu un televizor SAMSUNG Ultra High Definition (UHD) 4K Flat Smart JU6800 Series 6 cu diagonala de 60 inch și conexiune WiFi.

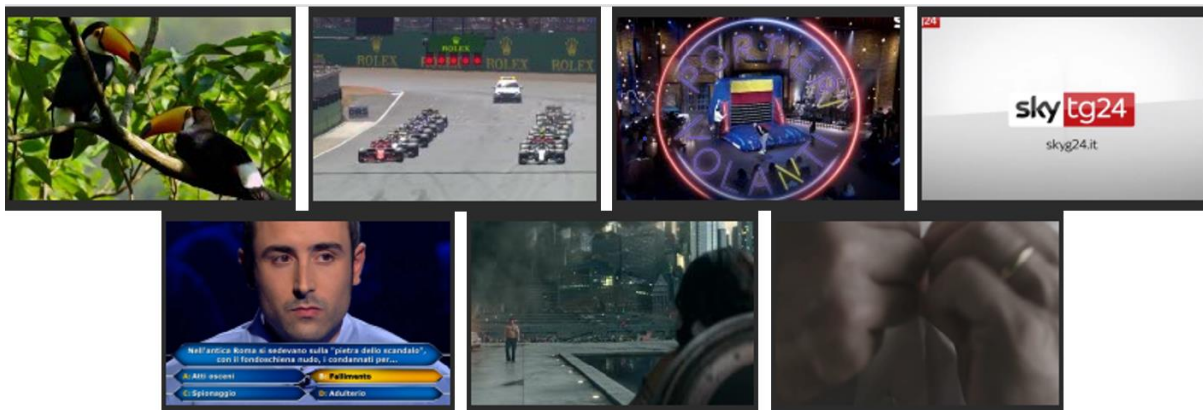


Figura 54 Primul cadru al fluxurilor video utilizate pentru testare

6.5.2 Tipuri de fluxuri video și notificări

Șapte categorii de videoclipuri, prezentate în Figura 54, au fost luate în considerare pentru a efectua testele cu obiectivul de a include diferite tipuri de preferințe și de a extrage concluzii: documentar, *Live Sport*, divertisment, știri, *Live Quiz*, film de acțiune, film de tip dramă.

Fiecare videoclip are o durată de 15-18 secunde, afișat aleatoriu și intercalat cu 5 secunde de ecran gri pentru a permite participanților să evalueze secvențele video. Am testat patru tipuri de notificări: video-interfon, apel vocal, mesaj text și alarmă.

6.5.3 Participanți și Procedura de evaluare

La această evaluare au fost invitați 30 de participanți (20 de bărbați și 10 femei) din medii diferite, între 25 și 45 de ani, cu vârsta medie de 30 de ani; doar doi participanți au mai participat la o evaluare similară. Pentru fiecare participant, au fost colectate următoarele informații: vârstă, sex, educație și ocupație.

În evaluare, secvențele video de 15-18 secunde sunt afișate intercalate aleatoriu cu 5 secunde de ecran gri utilizate de evaluatori pentru a evalua secvențele video. SSCQS nu implică utilizarea secvențelor de referință care trebuie arătate observatorilor. Utilizarea SSCQS a permis reducerea timpului total al evaluării pentru fiecare pereche de participanți la mai puțin de 10 minute, evitând astfel lipsa de concentrare din cauza oboselii utilizatorilor.

6.5.4 Rezultate

Dintre cele 30 de persoane care au participat la această evaluare, niciuna nu a fost eliminată în conformitate cu procedura descrisă la [152] (*outliers*).

Tabel 1 Evaluarea MOS a notificărilor

Popup	MOS
Alarm	3.36
Text message	4.60
Incoming call	3.98
Video doorbell	4.10

Tabel 2 Evaluare MOS cu/fără sunet

MOS Sound ON	MOS Sound OFF
4.13	4.56

Tabel 3 Evaluare MOS poziția notificării

MOS Top left	MOS Top right	MOS Bottom left	MOS Bottom right
4.33	4.42	3.97	4.21

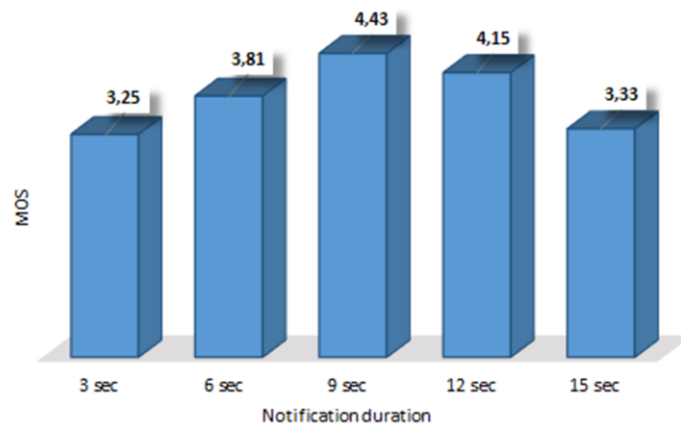


Figura 55 Evaluare MOS durata notificărilor

La finalul sesiunii de testare, participanții au fost invitați să răspundă la întrebările post-experiment, în care au fost rugați să comenteze experiența lor în ceea ce privește efectele notificărilor. Pe baza rezultatelor obținute, am individualizat o configurație comună preferată: fără sunet, poziția din dreapta sus, durata de 9 sec.

6.6 Sumarul capitolului

Capitolul 6 are în prim plan convergența IoT-OTT-TV și prezintă o serie de mecanisme, servicii și soluții care mizează pe sinergia acestor trei domenii aparent necorelate pentru a îmbunătăți considerabil calitatea experienței utilizatorului. Această abordare bazată pe unificare, aduce o serie de schimbări de paradigmă în ceea ce privește rolurile clasice îndeplinite de anumite dispozitive, cum ar fi dispozitivul TV sau set-top-box sau în ceea ce privește aplicarea unor concepte cum ar fi inteligența artificială în crearea unei experiențe complet personalizate pentru utilizatorul final.

În acest capitol am propus o soluție de unificare a experienței utilizatorului pentru mediul inteligent local în care sistemul TV este elementul central de comandă și control. Soluția tratează pe larg aspecte legate de arhitectură, implementare și securitate raportate la toate entitățile participante: sistem TV HbbTV, portal IoT, dispozitive IoT sau asistenți virtuali.

Tot în cadrul acestui capitol este prezentat un studiu prin care s-a efectuat evaluarea subiectivă a QoE în contextul sistemului TV utilizat ca element central de comandă și control. Dat fiind faptul că soluția propusă schimbă modul clasic de utilizare a sistemului TV, acest studiu a fost necesar pentru a determina impactul asupra QoE precum și pentru a stabili un model general capabil să asigure o îmbunătățire a QoE pentru publicul larg.

Soluția a fost ulterior extinsă prin integrarea de elemente de tip e-Health pentru a monitoriza starea de sănătate a utilizatorului și întreprinde automat o serie de acțiuni în funcție de datele procesate (TRL 3).

Capitolul 7. Concluzii generale, contribuții originale și dezvoltări viitoare

În cadrul acestui capitol sunt prezentate concluziile rezultate în urma cercetărilor efectuate, soluțiile propuse precum și validarea acestora prin intermediul articolelor publicate, al proiectelor de cercetare și al prezentărilor susținute în comunitățile de specialitate în ceea ce privește distribuția fluxurilor digitale în rețelele de comunicații.

La nivel general, teza abordează aspecte legate de *convergența, corelarea și sinergia* conținutului și a tehnologiilor cu o viziune bazată pe separarea nivelurilor și sub-nivelurilor OSI corespunzătoare în vederea atingerii unui grad ridicat de modularitate prin soluții / componente / micro-servicii care oferă posibilitatea de modernizare ulterioară și chiar înlocuire la nivelurile inferioare (transport, rețea) dar și introducerea de noi servicii și aplicații la nivelurile superioare – chiar și deasupra stivei tradiționale OSI (la niveluri de management sau comerciale).

Producția, distribuția și modelele de consum se află actualmente pe un val de inovare în *Industry 4.0*, pe măsură ce conținutul (sub formă de structuri de date eterogene) devine independent față de mediul de distribuție și dispozitivele client - tendința fiind de a depăși limitele impuse de modelele clasice. În acest context, un punct de interes major al tezei a fost reprezentat de conceptul *de streaming multimedia și serviciile over-the-top (OTT)*. Aceste două paradigme reprezintă elementele de bază în ceea ce privește furnizarea unei cantități imense de conținut *interactiv și personalizabil* și crearea unei experiențe dinamice net superioară și adaptată la nevoile consumatorului. În cadrul acestei direcții de cercetare, am identificat aspectele cheie în ceea ce privește asigurarea calității serviciilor și îmbunătățirea experienței utilizatorului și am propus și dezvoltat o serie de soluții cu privire la: dimensionarea corectă a platformelor de streaming (furnizor și client) și augmentarea tehnologiilor de streaming adaptiv prin implicarea activă *a elementelor de rețea* (server, CDN sau router) și *a utilizatorului* în cadrul procesului de streaming.

În timp ce popularitatea serviciilor OTT este în continuă creștere, există încă o diferență semnificativă între OTT și televiziunea clasică în ceea ce privește audiența și numărul total de ore vizionate pe zi. Această nouă paradigmă (OTT) este populară și disponibilă în întreaga lume, dar nu a înlocuit, încă, televiziunea clasică. Așadar, o parte importantă a acestei teze abordează televiziunea de ultima generație din perspectiva serviciilor, a mecanismelor de furnizare și a modelelor de consum având în prim plan tranziția către o experiență interactivă, configurabilă și personalizată. Cercetările efectuate în această direcție, au reliefat faptul că integrarea interdependentă cu ecosistemul TV a tehnologiilor din domenii precum streaming multimedia sau OTT reprezintă baza în ceea ce privește migrarea către un ecosistem hibrid în care serviciile de bandă largă și cele clasice (prin rețele de difuzare) se pot întrepătrunde într-un mod corelat pentru a crea o nouă gamă de servicii și experiențe raportate la profilul personal și necesitățile utilizatorului.

În astfel de scenarii sinergice, respectarea cerințelor stricte în ceea ce privește calitatea serviciilor (QoS), calitatea experienței (QoE) și securitatea devin adevărate provocări care impun dezvoltarea de infrastructuri scalabile, robuste, dar și rentabile din punct de vedere al costurilor. Așa cum am

arătat în cel de-al patrulea capitol, abordarea cu cel mai mare potențial în asigurarea acestor cerințe este *migrarea către Cloud*- atât a serviciilor, cât și a funcționalităților specifice dispozitivelor client. Astfel, acest nou ecosistem, deschide calea către furnizarea de noi servicii complexe și extinderea celor deja disponibile fără a necesita adaptarea dispozitivului client. În acest sens, am continuat cercetările și am prezentat o serie de abordări și arhitecturi conceptuale având la bază o viziune centrată pe migrarea către Cloud a sarcinilor computaționale și a complexității în vederea furnizării de servicii complexe (realitate virtuală, fluxuri video 360° sau chiar și interfețe grafice) sub formă de fluxuri multimedia. Această abordare asigură independența față de caracteristicile sau resursele dispozitivului client și are potențialul de a extinde experiența multimedială a utilizatorului. Sistemul TV transcende funcționalitatea clasică de dispozitiv de vizualizare și devine cel mai important ecran al consumatorului capabil să acționeze ca punct central de interacțiune, procesator/relev de date sau server multimedia. În acest context, cercetările s-au îndreptat către integrarea în cadrul sistemelor TV a capacității de interacționare cu mediul înconjurător prin intermediul conceptului de Internet al Obiectelor.

Așadar, un alt vector de interes al tezei a fost reprezentat de aplicațiile M2M și IoT. Acestea se bazează în principal pe comunicații terestre cu rază scurtă de acțiune încorporate în dispozitive fără fir accesibile, de mică putere și sunt conectate la un portal care le permite comunicarea cu mediul exterior. Varietatea standardelor de comunicare utilizate în prezent în domeniile IoT și M2M ridică dificultăți în a dezvolta un singur dispozitiv capabil să deservească o multitudine de obiecte indiferent de protocolul de comunicare. În multe aplicații IoT, senzorii și actuatorii ("acționările") sunt distribuite pe suprafețe foarte largi, pentru care, uneori, nu există o conexiune asigurată de rețele terestre. Astfel, am pus accentul pe integrarea platformelor radio definit software (SDR) în aplicații IoT/M2M în vederea obținerii unui grad mare de flexibilitate și a accelerării procesului de dezvoltare și pe implicarea legăturilor satelitare în contextul M2M/IoT în vederea extinderii conectivității. Rezultatele obținute în urma analizelor efectuate s-au concretizat într-un demonstrator hibrid M2M/IoT care asigură suport pentru cele mai importante protocoale specifice IoT: Lora, WiFi, BLE și Zigbee precum și suport pentru legătura satelit.

În final, am evidențiat potențialul generat de sinergia celor trei mari domenii abordate în cadrul tezei - servicii OTT, televiziune și Internetul Obiectelor. Deși aparent necorelate, aceste domenii au ca numitor comun ecosistemul local al utilizatorului. Astfel, convergența acestora are un real potențial în a unifica și a armoniza experiența la nivel de utilizator. Așa cum am prezentat în cel de-al șaselea capitol, în cadrul acestei abordări bazate pe unificare funcționalitățile și serviciile se întrepătrund și devin o caracteristică a mediului ca entitate omogenă care asigură inter-conectarea și inter-relaționarea tuturor elementelor implicate: sisteme TV, portaluri IoT, rețele de senzori și actuatori, dispozitive mobile sau asistenți virtuali.

Convergența, corelarea și sinergia reprezintă termenii cheie ai viitorului în domeniul tehnologic. Într-o lume a conexiunilor de tip "orice, oricine, oricum, oriunde", accentul se pune evident pe interoperabilitate, inter-conectare și inter-relaționare. În acest context, pentru a îndeplini setul vast de cerințe, o nouă schimbare de paradigmă este necesară: de la o abordare bazată pe dezvoltare individuală, în mediu închis, către o paradigmă bazată pe micro-tehnologii / servicii / tranzacții care

utilizează un cadru deschis – totul pentru a satisface cerințele în continuă creștere cu privire la calitatea experienței și a serviciilor.

7.1 Contribuții originale

Această secțiune prezintă principalele rezultate ale cercetării doctorale (contribuții evidențiate cu simbolul ©) în ceea ce privește distribuția fluxurilor digitale în rețelele de comunicații, structurate în concordanță cu principalele capitole ale tezei. În ceea ce privește soluțiile și demonstratoarele dezvoltate, la o bună parte dintre acestea, a fost marcat nivelul de disponibilitate tehnologică atins (TRL – *Technology Readiness Level*).

Așa cum am arătat în capitolul al doilea, serviciile de streaming multimedia reprezintă unul dintre cele mai eficiente mecanisme de livrare de conținut audio-video digital către consumatori și, datorită spectrului larg de aplicabilitate, prezintă un interes sporit, atât în mediul business cât și în mediul privat. În acest context, performanța acestor servicii a devenit o preocupare majoră. Principalii indicatori de performanță ai acestor servicii sunt latența și rata de transfer – scopul este de a obține o rată mare de transfer menținând o latență cât mai scăzută [153]. Datorită gamei vaste de tehnologii, protocoale, furnizori și dispozitive client, atât dimensionarea eficientă a platformelor cât și asigurarea suportului în cadrul acestor dispozitive client capătă un grad mare de complexitate.

© *Am propus o soluție de dimensionare și o arhitectură de testare cap-la-cap a platformelor de streaming (furnizor și client), pe care am definit-o și implementat-o.* Aceasta cuprinde un mediu de execuție local capabil să evalueze accesibilitatea, fiabilitatea și performanța diferitelor servicii de streaming prin execuția automată de teste de funcționalitate, teste cap-la-cap și teste de stres/de încărcare ("load & stress") controlând și monitorizând toate componentele implicate în procesul de streaming multimedia: servere de streaming, rețele de distribuție și dispozitive client [CG-8].

Prin intermediul acestei soluții (TRL-4) am urmărit dezvoltarea unui sistem modular, adaptabil și ușor de integrat, capabil să opereze într-un mediu local (*offline*) în cadrul căruia diferite scenarii ce pot apărea în mediul real ("de producție") pot fi simulate prin cuantificarea unor parametri specifici ce pot influența buna funcționare (latența rețelei, număr mare de conexiuni simultane, pierderi de pachete, etc.), înglobate în cadrul unei suite de teste complet automatizate și executate ori de câte ori este nevoie.

Pentru a demonstra funcționalitatea sistemului, am creat, în mediul local, un ecosistem HbbTV (*Hybrid Broadcast Broadband Television*) în care am integrat soluția propusă, scopul fiind acela de a analiza impactul condițiilor de rețea asupra calității serviciilor de streaming în cadrul dispozitivelor HbbTV dar și de a identifica scenarii care pot duce la comportamente anormale atât din perspectiva serverelor de streaming cât și din perspectiva dispozitivului client. Soluția este în prezent utilizată ca instrument intern de testare și validare a calității serviciilor de streaming în cadrul laboratoarelor de cercetare și dezvoltare ale companiilor Mindware Solutions și Tara Systems.

Simulările și testele efectuate cu soluția anterior menționată au permis și analiza comparativă a performanței protocoalelor de streaming și a soluțiilor dezvoltate de diferiți furnizori. În urma analizei rezultatelor obținute, și raportat la contextul actual, am concluzionat că tehnologiile de

streaming adaptiv (ABS – *Adaptive Bitrate Streaming*) reprezintă componente de bază pentru furnizarea conținutului multimedia în mediul online.

Aceste tehnologii sunt capabile să transmită fluxul de date către utilizatori în cel mai eficient mod posibil și la cea mai înaltă calitate, adaptată la condițiile de rețea și dispozitivul client. În acest context:

© *Am contribuit la dezvoltarea și implementarea unei soluții de streaming adaptiv în rețea, DASH-SAND (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP / Server and Network-assisted DASH) în cadrul proiectului de cercetare ANOPAS (Application-Oriented Optimization of Media-Streaming with MPEG-DASH).*

Această soluție propune o arhitectură orientată pe aplicație pentru optimizarea procesului de streaming media în care, pe lângă client, sunt implicate și alte entități precum: serverul, nodurile CDN (*Content Delivery Network*), sau elemente de tip proxy capabile să ofere informații adiționale precum: raportare metrică, coordonare și servicii externe de furnizare/parametrizare a algoritmilor, cu scopul de a eficientiza procesul de selecție a variantei optime de streaming. Această nouă abordare (client asistat de server și rețea) permite integrarea de noi entități sau factori cu impact decizional în cadrul procesului de streaming adaptiv (de exemplu comportamentul utilizatorului).

© *Am dezvoltat un demonstrator pentru managementul lățimii de bandă utilizate de serviciile de streaming DASH. Soluția pune la dispoziție o infrastructură complet automatizată capabilă să urmărească și să monitorizeze comportamentul utilizatorului și, bazându-se pe aceste informații, să decidă dacă utilizarea lățimii de bandă a unui serviciu activ de streaming poate fi diminuată prin reducerea calității fluxului sau chiar prin oprirea temporară a serviciului în cazul în care utilizatorul părăsește incinta, cu efecte secundare infime sau inexistente în ceea ce privește aspectele legate de QoE (Quality of Experience) [CG-7].*

- Am extins soluția anterior menționată prin **integrarea unui sistem de recunoaștere facială** pe care l-am dezvoltat inițial ca și model de aplicabilitate a "recunoașterii faciale pentru eLearning în Cloud și mediul distribuit" concretizată în articolul [CG-11], ceea ce a extins considerabil capacitățile sistemului. Poziția feței utilizatorului în raport cu dispozitivul client devine un alt factor decizional în decizia cu privire la modificarea calității serviciului de streaming iar dispozitivul client capătă un anumit grad de inteligență cu privire la managementul conținutului redat putând, de exemplu, să sisteze redarea serviciului atunci când detectează că un utilizator nu îndeplinește condițiile cu privire la vârsta minimă necesară pentru vizualizarea conținutului multimedia.
- Demonstratorul (TRL-3) dezvoltat pentru a valida funcționalitatea sistemului a fost implementat într-un ecosistem HbbTV local, format din echipamente reale: set-top-box Broadcom (dispozitiv HbbTV client), server Linux (ANOPAS), Raspberry Pi (dispozitiv pentru detectarea mișcării și recunoaștere facială).
- **Am definit o serie de teste manuale și automate raportate la scenarii reale de interacțiune dintre dispozitivul client și utilizator și, pe baza rezultatelor obținute, am concluzionat că utilizarea soluției propuse poate reduce lățimea de bandă utilizată.**

Contribuțiile din domeniul televiziunii digitale (DTV) sunt orientate către *middleware*, pe partea de client (*client-side*) mergând până la nivelul aplicație pentru o categorie consacrată de sisteme de operare și reprezintă o serie de module constituite în interfețe software, adaptoare și servicii moderne de procesare și furnizare de conținut multimedia.

© *Am contribuit la dezvoltarea unei soluții de tip middleware ce oferă suport DVB/IPTV pe o gamă variată de platforme și care include funcționalități precum: HbbTV, EPG (Electronic Program Guide), Teletext, Subtitrări, SAT>IP client/server sau Arhivă TV).*

Soluția se remarcă prin versatilitate și modularitate, pentru fiecare funcționalitate specifică existând o componentă dedicată. Această abordare asigură faptul că soluția poate fi ușor portată și integrată parțial sau integral, în funcție de necesitățile clientului. Soluția este deja prezentă pe piață sub denumirea **Inaris Middleware** [W-14] și integrată în platforme precum Broadcom, HiSilicon sau MStar.

În domeniul distribuției televiziunii prin satelit în medii locale prin infrastructura IP (Internet Protocol):

© *Am contribuit la dezvoltarea unei aplicații client iOS cu un client SAT>IP îmbunătățit ca și componentă fundamentală și la receptorul de satelit HUMAX UHD 4tune+ cu serverul SAT>IP îmbunătățit.* Soluția este disponibilă pe piață sub denumirea de HD+ Extra Screen [W-17].

Pentru a veni în întâmpinarea noilor tendințe în materie de sisteme TV cu sistem de operare (în particular Android TV):

© *Am contribuit la dezvoltarea și implementarea de soluții Android TV prin portarea soluției de tip middleware menționată anterior pe platforma Android pentru a oferi suport DVB/ IPTV pentru dispozitive TV cu sau fără tuner.*

Soluția include și contribuții referitoare la *serviciile de tip OTT (independente de mediul de transmisie) și de tip Cloud Personal Multimedia*: conținut la cerere, înregistrări pe modele *Device-to-the-Cloud (Personal Video Recorder – PVR)*, adaptarea conținutului la profilul utilizatorului, organizarea conținutului în funcție de popularitate.

În acest context, *am contribuit la dezvoltarea unor module și mecanisme ce includ:*

- *procesarea hibridă a datelor EPG*, în special pe partea de corelare a datelor OTT (over-the-top) livrate prin IP cu serviciul difuzat prin DVB (*Digital Video Broadcasting*);
- *asigurarea capacității de redare de conținut live și la cerere independent de mediul de distribuție utilizat* (rețeaua de broadcast sau cea de bandă largă);
- *migrarea “în nori” – Cloud a funcționalităților de PVR* (Personal Video Recording) ca parte a migrării dispozitivului TV către un model „*device-to-the-Cloud*”;
- *adaptarea conținutului la profilul utilizatorului* prin colectarea, analiza și clasificarea datelor privind comportamentul și preferințele de vizualizare specifice fiecărui utilizator.

Soluția a fost validată prin lansarea pe piață a dispozitivului *QuickLine Box* [W-46] și prin dezvoltarea unei aplicații de referință Live-On-TV validată atât pe dispozitive fără tuner (NVIDIA Shield) cât și pe dispozitive cu tuner (Sagemcom/Broadcom).

Creșterea impresionantă a cererii de conținut multimedia din ultimul deceniu a avut un impact semnificativ și în industria televiziunii determinând tranziția de la un model static, liniar către un model non-liniar, interactiv, adaptat la cerințele utilizatorului. Astfel a fost introdus standardul HbbTV. Această nouă paradigmă a condus la o sinergie între serviciile TV liniar și cele bazate pe IP (de bandă largă) într-un singur terminal (TV, set-top-box), fapt ce a determinat o creștere a gamei de servicii oferite și implicit o îmbunătățire semnificativă a calității experienței utilizatorului.

© *Am contribuit la dezvoltarea și implementarea unei soluții HbbTV modulare care pune la dispoziție toate componentele software necesare pentru asigurarea aderării la standardul HbbTV a oricărui dispozitiv TV conectat (Connected TV).*

Soluția se remarcă prin independența de platformă sau de componenta DVB middleware utilizată în cadrul sistemului. Validarea soluției s-a efectuat prin integrarea cu *Inaris middleware* și prin testarea pe platforme de tip *embedded Linux* sau *Android* pentru care:

© *Am dezvoltat două demonstratoare care rulează complet în mediul local utilizând echipamente reale pentru dispozitivele client: unul pe un dispozitiv STB Broadcom (embedded Linux) și celălalt pe un dispozitiv Nvidia Shield (Android) și echipamente de simulare a furnizorilor de servicii DVB și OTT.*

Ulterior, am reutilizat și adaptat în consecință demonstratoarele și mediul local menționate anterior în contextul furnizării de conținut video 360° / VR.

© *Am implementat un demonstrator video 360° / VR cu o arhitectură bazată pe Cloud care utilizează mecanisme și principii de streaming specifice pentru distribuția fluxurilor video 360° / VR.* Scopul principal al demonstratorului este de a asigura accesul dispozitivelor cu resurse limitate la servicii multimedia imersive de înaltă calitate. Acest lucru a fost posibil datorită faptului că toată complexitatea asociată unor astfel de servicii este preluată și asigurată în Cloud, dispozitivul final acționând ca un simplu client de streaming.

Demonstratorul utilizează soluția Cloud Wowza optimizată pentru streaming VR și 360° iar sistemul de redare (pe partea de client) utilizează demonstratoarele HbbTV care acționează ca dispozitiv central și mai mulți clienți "thin" (smartphone, tabletă, dispozitive specifice VR – Google Cardboard sau Oculus Rift) care acționează ca dispozitive de redare secundare.

© *Am implementat o aplicație HbbTV prin intermediul căreia pot fi lansate campanii publicitare cu experiență vizuală imersivă corelate cu fluxul liniar transmis prin rețeaua de difuzare.* Prin intermediul specificațiilor de sincronizare media și dispozitiv companion ale HbbTV se poate realiza și sincronizarea media inter-dispozitiv, astfel că un utilizator poate folosi un smartphone împreună cu un dispozitiv HMD (*Head-Mounted Display* - ex. Google Cardboard) în timp ce alt utilizator poate vizualiza același conținut, sincronizat cu mișcările primului utilizator translatate în acțiuni de navigare în cadrul conținutului 360°, pe ecranul mare al sistemului TV.

În contextul actul, datorită dezvoltării rapide a tehnologiilor și rețelelor de comunicații, paradigma de calcul ubicuu (*Ubiquitous Computing – UbiComp*) a început să prindă contur și promite să devină o parte semnificativă a realității. Se așteaptă ca fiecare dispozitiv, cât de mic, de pe planetă să încorporeze un fel de inteligență, combinată cu capacități de comunicare, devenind astfel parte a Internetului Obiectelor. Cerințele de performanță, scalabilitate, flexibilitate și acoperire la un cost redus devin o adevărată provocare raportate la necesitatea a milioane de dispozitive de a se conecta cu mediul înconjurător. Un factor important în asigurarea acestor cerințe îl reprezintă conceptul de *Software Defined Radio (SDR)* și *Cognitive Radio (CR)* care pot contribui la dezvoltarea rapidă a sistemelor IoT oferind un grad mai mare de flexibilitate în proiectarea interfețelor fără fir capabile să suporte mai multe tehnologii de comunicații. Dispozitivele echipate cu module SDR pot comuta dinamic între protocoale și pot încorpora, de asemenea, capacități de detectare a spectrului. Astfel de dispozitive pot acționa ca și portal între diferite tipuri de rețele, astfel interconectându-le.

© *Am efectuat o analiză scenariilor și a cerințelor pentru o platformă reconfigurabilă, multi-protocol, de tip SDR și, raportat la rezultatele obținute, am definit arhitectura generică și am implementat un portal hibrid IoT pe platforma SDR – USRPE310 Ettus care oferă suport pentru principalele protocoale specifice IoT: Zigbee, LoRa, BLE și WiFi.*

Un aspect important în cadrul procesului de implementare software pentru portal a fost definirea setului de protocoale utilizat pentru comunicarea cu rețele de senzori fără fir (WSAN – *Wireless Sensors and Actuators Networks*) și mediul extern. În acest sens, am decis utilizarea protocolului MQTT (*Message Queue Telemetry Transport Protocol*), deoarece este un protocol ușor de integrat și general acceptat în domeniul IoT. În ceea ce privește comunicarea cu rețele de senzori am decis utilizarea protocolului MQTT-SN (*MQTT for Sensor Networks*), considerat o variantă îmbunătățită a MQTT, adaptată pentru a face față la cerințele stricte cu privire la puterea redusă de procesare și consumul mic de energie ce caracterizează nodurile unei rețele de senzori fără fir.

Pentru a asigura compatibilitatea cu o gamă largă de senzori/rețele de senzori:

© *Am propus un protocol ce definește structura mesajelor utilizate pentru raportarea datelor colectate de la senzori precum și a mesajelor utilizate pentru controlul acționărilor – al actuatorilor.*

© În cadrul portalului *am integrat un broker MQTT* care asigură legătura cu mediul exterior, și *un broker MQTT-SN* care asigură legătura cu rețele de senzori și *o punte* care face translatarea mesajelor celor două standarde.

© *Am dezvoltat o aplicație web de referință care oferă atât mecanisme de management și control al tuturor senzorilor conectați la portal cât și mecanisme de post-procesare, clasificare și vizualizare configurabilă a datelor obținute de la senzori prin intermediul unui panou de vizualizare și control.* Pentru a oferi suport pentru orice tip de client web, am definit un REST-API (*Representational State Transfer - Application Programming Interface*) și *am implementat și integrat un server HTTP.*

© Am implementat un **modul de stocare temporară și selectivă a datelor obținute în cadrul unei baze de date SQL locale și am integrat un mecanism de generare de rapoarte la cerere** astfel, dispozitivul SDR oferă suport și pentru managementul datelor obținute de la rețelele de senzori wireless.

Standardizarea reprezintă aspectul cheie pentru a asigura compatibilitatea cu cât mai multe dispozitive IoT astfel:

- *Am definit o arhitectură generică a nodurilor senzor/actuator independentă de protocolul de comunicare* utilizat;
- *Am implementat o serie de noduri senzor/actuator având la bază arhitectura propusă.*

Una dintre provocările IoT este implementarea la scară globală a milioane de dispozitive care vor necesita o infrastructură de comunicare capabilă să ofere o acoperire la nivel mondial. În acest sens, un rol crucial îl are integrarea sistemelor de comunicații prin satelit capabile să asigure acoperire globală, disponibilitate ridicată și securitate. Pentru a veni în întâmpinarea acestei tendințe :

© *Am propus un set de criterii pentru alegerea scenariilor de aplicabilitate (protocoale, profiluri de trafic, tipuri de interfațare pe legătura inbound cât și pe legătura outbound) pornind de la analiza necesităților pentru subrețeaua satelitară.* În urma rezultatelor obținute am concluzionat că pentru legătura *outbound* (spre exterior), se pretează utilizarea standardului DVB-S2/X, iar pentru legătura *inbound*, cea mai potrivită abordare ar fi S-MIM (*S-band Mobile Interactive Multimedia*) cu adaptarea adecvată pentru utilizarea în benzile Ku/Ka.

La nivel de dispozitiv SDR:

© *Am implementat și un receptor DVB-S2/X și am validat implementarea prin crearea lanțului complet de transmisie/recepție DVB-S2/X într-un mediu local.* La nivelul "data link" (legăturilor de date) am utilizat protocolul GSE (*Generic Stream Encapsulation*) - special proiectat ca suport pentru protocoale orientate pe pachete (IP) peste protocoale unidirecționale (DVB-S2/X).

Pentru o integrare transparentă cu mecanismele de interfațare cu mediul extern deja implementate în cadrul portalului, *am dezvoltat o abordare bazată pe interfețe de rețea virtuale care acționează ca un proxy.*

Aplicația principală, care rulează pe portal și se ocupă de managementul nodurilor WSN, a fost concepută *pentru a fi independentă de tipul de conexiune utilizată de către client* (terestră sau satelit). Pachetele de date recepționate prin interfața satelit sunt transmise către o *interfață de rețea* virtuală (TAP) de unde sunt preluate de un client UDP și transmise mai departe către serverul HTTP implementat în cadrul portalului.

Configurabilitatea și flexibilitatea sunt caracteristici cheie ale sistemului propus. În acest context:

© *Am dezvoltat și integrat în cadrul platformei STARGATE-MIPS un mecanism hibrid de actualizare și reconfigurare atât de la distanță cât și la fața locului prin ambele legături (terestră sau prin satelit).*

Printre cele mai importante funcționalități asigurate de acest mecanism se numără: posibilitatea de selectare dinamică a modulelor care asigură conexiunea satelitară sau a celor care asigură legătura cu rețelele de senzori, încărcarea de module noi și activarea acestora de la distanță sau înlocuirea modulelor existente cu variante îmbunătățite.

© *Am contribuit la îmbunătățirea mecanismelor de auto-configurabilitate și la prioritizarea traficului prin:*

- *monitorizarea spectrului specific standardelor de comunicație terestre pe distanțe scurte ("spectrum sensing")*
- *implementarea, integrarea și testarea unui modul software de management al traficului bazat pe QoS.*

Implementarea a atins TRL 4 - prototip validat în mediul de laborator - iar validarea s-a efectuat:

- în cadrul proiectului de cercetare STARGATE-MIPS (7.3.2.1) din a cărei echipa am făcut parte cu următoarele atribuții: analiză, definire arhitectură, implementare și testare;
- prin articolele publicate [CG-2], [CG-4], [CG-5], [CG-6]
- prin prezentarea rezultatelor (7.3.3.1, 7.3.3.2, 7.3.3.3) și susținerea unui workshop (7.3.3.4).

Raportat la piața de consum și mediile inteligente (orașe, clădiri, locuințe inteligente), numitori comuni pentru IoT și televiziune, am efectuat o analiză a modului în care cele două concepte se pot integra inter-dependent pentru a îmbunătăți calitatea experienței utilizatorului și pentru a extinde gama de servicii ce pot fi oferite. Analiza a relevat nu doar faptul că o convergență IoT-TV este fezabilă dar și faptul că, în viitorul apropiat, va deveni chiar imperativă pentru a satisface cerințele consumatorilor. În acest context:

© *Am definit un concept pentru "unificarea experienței utilizatorului în cadrul locuinței inteligente (Smart Home)", care propune utilizarea specificațiilor HbbTV 2.0-CS (Companion Screen) pentru integrarea transparentă a ecosistemului TV cu mediul "smart home (SH)" și cu dispozitivele de tip "thin client" (telefon inteligent, tabletă). Practic, am realizat primii pași către convergența standardizată IoT-TV. În cadrul conceptului, dispozitivul TV devine hub central de gestiune pentru toate dispozitivele SH și „thin clients” și ecran principal de vizualizare a tuturor datelor. Aspectul cheie al acestei abordări îl reprezintă mecanismul descoperire și comunicare, HbbTV 2.0-CS, care asigură cerințele de inter-conectivitate și interoperabilitate standardizată. Conceptul precum și implementarea acestuia s-au concretizat în articolul [CG-3].*

© *Pentru validare, am implementat o soluție prototip constituită din echipamente reale: NVidia Shield (dispozitiv HbbTV), smartphone Huawei P20 (dispozitiv HbbTV companion), Raspberry Pi v3/ USRP E310 (portal IoT local/ dispozitiv HbbTV companion).*

Am reutilizat o parte din modulele software ale portalului IoT și rețelele WSAAN prezentate anterior pentru a defini un ecosistem de tip "Smart Home". În ceea ce privește mecanismul standardizat de descoperire și comunicare am urmat specificațiile definite în secțiunea 14 din cadrul standardului HbbTV 2.0.

©*Am implementat și integrat în portal componenta software „HbbTV CS Launcher”.* Aceeași abordare am utilizat-o și în cadrul dispozitivelor „thin client” unde: *am implementat o aplicație Android de management al notificărilor* (apeluri, SMS, email etc.) și *am integrat componenta software „HbbTVCS Launcher” menționată anterior.*

În cadrul dispozitivului HbbTV, am utilizat soluția Inaris Middleware, adaptată pentru platforma Android, compatibilă cu standardul HbbTV 2.0.

©*Am implementat o aplicație HbbTV care acționează ca hub central de management al tuturor dispozitivelor companion și ca punct central de vizualizare structurată a datelor primite de la aceste dispozitive.* Aplicația are o arhitectură de tip panou de vizualizare și control („dashboard”) care permite: vizualizarea datelor furnizate de dispozitivele WS (*Wireless Sensors*) prin reprezentări grafice dinamice; controlul dispozitivelor WA (*Wireless Actuators*) individual sau pe clase; afișarea selectivă a notificărilor primite de la „thin clients” și managementul inteligent al serviciilor multimedia (difuzate și/sau de bandă largă), corelat cu evenimentele raportate de dispozitivele companion.

© *Am integrat asistentul virtual (Amazon Alexa) în soluția propusă care permite interacționarea cu dispozitivul TV prin intermediul comenzilor vocale.* Astfel, utilizând comenzi vocale, utilizatorul poate schimba canalul curent, modifica temperatura sau afișa variabilele de mediu dintr-o încăpere. Domeniul de aplicare al acestei abordări unificate în mediul local inteligent poate fi extins pentru monitorizarea stării de sănătate a persoanelor aflate în carantină, a persoanelor în vârstă sau a persoanelor cu diferite grade de handicap. Am continuat cercetările pentru a identifica soluții care ar putea permite întregului ecosistem să participe activ la monitorizarea stării de sănătate a utilizatorilor, să ia decizii și să raporteze unei unități centrale datele prelevate.

© *Am definit arhitectura și am realizat o pre-implementare a unui demonstrator eHealth* având la bază soluția menționată anterior care presupune colectarea, procesarea și analiza datelor obținute de la dispozitive de monitorizare a sănătății și acționarea în consecință. În funcție de datele obținute, *demonstratorul poate decide*, pe baza algoritmilor implementați, să *genereze o alertă pe ecran și/sau să redirecționeze o anumită alertă prin IP către un centru de control.*

Demonstratorul poate controla, de asemenea, dispozitivele în mediul SH, și va putea contracara în mod activ efectul ecranului TV pe patologii cunoscute, cum ar fi epilepsie fotosensibilă, prin pornirea în paralel a luminilor ambientale, prin suprapunerea unei măști semi-transparente pe ecranul televizorului sau prin întreruperea fluxului video [CG-15].

Având în vedere toate tipurile diferite de dispozitive, volumul de date vehiculate și sensibilitatea acestora, securitatea reprezintă un aspect critic în cadrul acestui tip de soluție de unificare.

© *Am extins arhitectura menționată anterior prin integrarea soluțiilor de securitate Bitdefender și Cloudflare la nivel de rețea locală respectiv externă.*

© *Am contribuit la realizarea studiului de fezabilitate a soluției integrate IoT–HbbTV.* În parteneriat cu Universitatea din Cagliari am efectuat un studiu privind fezabilitatea acestei sinergii între mediul

inteligent bazat pe IoT și sistemele de tip HbbTV. Mediul de testare a fost implementat în laboratorul QoE al Departamentului de Inginerie Electrică și Electronică (DIEE) al Universității din Cagliari în concordanță cu recomandările P.911a Uniunii Internaționale a Telecomunicațiilor (ITU) - T [152]. Rezultatele testelor au confirmat fezabilitatea abordării propuse și funcționalitatea arhitecturii, validând și implementarea hardware. Mai mult, analiza rezultatelor a permis definirea și selectarea configurației optime în ceea ce privește afișarea notificărilor raportată la poziționare, durată și caracteristicile multimedia. Validarea conceptului, a rezultatelor și a studiului de fezabilitate s-a efectuat prin publicarea articolului de jurnal [CG-1] și a articolului [CG-3].

7.2 Dezvoltări viitoare

În urma cercetărilor aprofundate efectuate și a concluziilor desprinse am identificat o serie de posibile direcții viitoare de dezvoltare printre care se numără:

- Extinderea conceptului de streaming adaptiv asistat de server și rețea prin aplicarea conceptelor de Inteligență Artificială și/sau *Machine Learning* pentru a genera modele de încredere pentru trafic și consum, pe baza cărora se pot lua decizii cu privire la calitatea audio/video furnizată precum și asupra mecanismelor de livrare (*unicast/multicast*) pentru a asigura QoS și QoE satisfăcătoare în funcție de condițiile de rețea, încărcarea pe sever, tipul de dispozitive client și alte metrici care pot avea un impact în procesul de streaming;
- Dezvoltarea unui demonstrator TRL 5/6 în contextul orașelor sau clădirilor inteligente în cadrul căruia sistemul/ dispozitivul TV devine un "*thin client*" a cărui funcție principală este aceea de redare a fluxurilor multimedia pe un ecran mare, cu resurse computaționale limitate, celelalte funcționalități și componente software (de la middleware până la aplicații TV și interfața utilizator) fiind complet virtualizate și migrate către Cloud.
- Optimizarea soluției STARGATE-MIPS dezvoltate pentru utilizarea eficientă a zonei FPGA și, de asemenea, pentru minimizarea întârzierii totale. Alte dezvoltări ulterioare vor include teste privind implementarea folosind noua placă de dezvoltare ETTUS E320 și, alternativ, dispozitive SoC (System on Chip) de ultimă generație combinate cu hardware RF dedicat, pentru a reduce și mai mult costurile de implementare
- În ceea ce privește soluția de unificare a experienței utilizatorului în mediul inteligent local, o direcție viitoare de cercetare și dezvoltare o reprezintă extinderea percepției multimediale în direcția multi-senzorială prin intermediul conceptului MulSeMedia (*Multisensorial Media*) care presupune furnizarea de conținut media realist ce cuprinde multiple efecte senzoriale care vizează creșterea experienței utilizatorului prin stimularea celor cinci simțuri de bază (gustativ, vizual, tactil, olfactiv și auditiv).
- Extinderea demonstratorului *eHealth* prin adăugarea unui mecanism bazat pe interpretarea meta-datelor prezente în fluxurile video [154] pentru prevenirea convulsiilor în cazul utilizatorilor care suferă de epilepsie fotosensibilă și, după finalizarea implementării, definirea unui set de teste privind scorul mediu de opinie (MOS) pentru a determina impactul pe care un astfel de sistem îl are asupra utilizatorilor finali.

7.3 Validarea și diseminarea rezultatelor științifice în publicații și proiecte de cercetare

Contribuțiile științifice din cadrul tezei de doctorat au fost validate prin intermediul a 14 articole publicate în jurnale de specialitate sau în volumele unor conferințe internaționale (la care se adaugă 1 articol în curs de publicare), 2 proiecte de cercetare sau mobilitate și 1 workshop, precum și prin și prezentări în comunități de specialitate.

1. Lucrări proprii

1. Două articole în Jurnale din fluxul principal ISI (Q1 la data publicării) – [CG-1] și [CG-2];
2. Opt articole în volumele indexate ISI ale unor conferințe internaționale – [CG-3]-[CG-10];
3. Trei articole indexate în alte BDI (EBSCO) – [CG-11]-[CG-13];
4. Un articol în curs de indexare – [CG-14];
5. Un articol în curs de publicare – [CG-15].

2. Proiecte de cercetare/mobilitate

1. Proiectul **STARGATE-MIPS** (*SDR-based Terrestrial Gateway for M2M and IoT Applications*) - în cadrul Programului de Cercetare, Dezvoltare și Inovare pentru Tehnologie Spațială și Cercetare Avansată - STAR, proiectul STAR CTR 147, <https://star.rosa.ro/>
2. Proiectul UEFISCDI de Mobilitate pentru Cercetători - PN-III-P1-1.1-MC-2017-0768 – în cadrul Departamentului de Inginerie Electrică și Electronică (DIEE) al Universității din Cagliari, Italia.

3. Workshop și prezentări

1. Prezentare a proiectului STARGATE și rezultatelor preliminare obținute a fost realizată în cadrul acțiunii COST IRACON CA15104 "Inclusive Radio Communications Networks for 5G and Beyond" la Cartagena (Spania) în perioada 30 mai – 1 iunie 2018 și la Podgorica (Muntele Negru) în perioada 1-3 octombrie 2018
2. În cadrul programului COST IRACON CA15104 "Inclusive Radio Communications Networks for 5G and Beyond" la Dublin în perioada 16-18 ianuarie 2019 au fost prezentate două documente TD(19)09044 - „SDR-based Gateway for IoT and M2M Applications” și TD(19)09045 - "Reconfigurable IoT Gateway Based on a SDR Platform" axate pe implementarea interfețelor de satelit și terestre.
3. În cadrul aceluiași program, COST IRACON CA15104 la Oulu în Finlanda în perioada 27 – 29 mai 2019 a fost prezentat documentul TD(19)10031 - "Device2Device Security Mechanism implementation on SDR platform".
4. Workshop - "De la radiodifuziune la IoT trecând prin comunicații satelitare. Un atelier despre convergența sistemelor de comunicație" susținut în cadrul Institutului de Cercetare și Dezvoltare din Brașov, 16.12.2019.

Referințe

Publicații proprii

- [CG-1] **Gavrila, C.**, Popescu, V., Fadda, M., Anedda, M., & Murrone, M. (2020). On the suitability of HbbTV for unified smart home experience. *IEEE Transactions on Broadcasting*.
- [CG-2] **Gavrila, C.**, Popescu, V., Alexandru, M., Murrone, M., & Sacchi, C. (2020). An SDR-Based Satellite Gateway for Internet of Remote Things (IoRT) Applications. *IEEE Access*, 8, 115423-115436.
- [CG-3] **Gavrila, C.**, Popescu, V., Alexandru, M., & Fadda, M. (2019, June). Unifying the smart home experience through HbbTV-enabled devices. In *2019 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)* (pp. 1-5). IEEE.
- [CG-4] **Gavrila, C.**, Alexandru, M., Popescu, V., Sacchi, C., & Giusto, D. (2019, March). Satellite SDR gateway for M2M and IoT applications. In *2019 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-9). IEEE.
- [CG-5] **Gavrila, Cristinel**, Csaba-Zoltan Kertesz, Marian Alexandru, and Vlad Popescu. "SDR-based gateway for IoT and M2M applications." In *2018 Baltic URSI Symposium (URSI)*, pp. 71-74. IEEE, 2018.
- [CG-6] **Gavrila, C.**, Kertesz, C. Z., Alexandru, M., & Popescu, V. (2018, June). Reconfigurable IoT gateway based on a SDR platform. In *2018 International Conference on Communications (COMM)* (pp. 345-348). IEEE.
- [CG-7] **Gavrila, C.**, Csaba-Zoltán, K., Popescu, V., & Sandu, F. (2017, June). Bandwidth usage management for HbbTV streaming services based on user behavior. In *2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)* (pp. 1-5). IEEE.
- [CG-8] **Gavrila, C.**, & Kertész, C. Z. (2016, May). Automated performance testing of end-to-end streaming solutions over HbbTV architecture. In *2016 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* (pp. 135-138). IEEE.
- [CG-9] Stelea, G. A., Fernoaga, V., **Gavrila, C.**, & Robu, D. (2018). Web-service based thin client for tele-measurement. In *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education* (Vol. 2, pp. 128-134). "Carol I" National Defence University.
- [CG-10] Fernoagă, V., Stelea, G. A., **Gavrila, C.**, & Sandu, F. (2018). Intelligent education assistant powered by Chatbots. In *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education* (Vol. 2, pp. 376-383). "Carol I" National Defence University.
- [CG-11] GA Stelea, **C Gavrila**, S Zamfir, R Curpen, "Face Recognition for Education in the Cloud", - eLSE: International Scientific Conference - eLearning and Software for Education - 2017, Vol. 2, p181-188. 8p. - doi.org/10.12753/2066-026x-17-111 - Bucharest - April 2017;
- [CG-12] Stelea, G.A., **Gavrila, C.**, Fernoaga, V.P.: Real-Time Data Analytics with Semantic Web Metadata and Web Services - BULLETIN OF THE TRANSILVANIA UNIVERSITY OF BRASOV VOL. 10 (59) No.2 - 2017 SERIES I - ENGINEERING SCIENCES, ISSN 2065-2119 (Print), ISSN 2065-2127 (CD-ROM);
- [CG-13] G.A. Stelea, V. Fernoaga, **C. Gavrila**, V. Popescu, M. Murrone, "Mobile Accessible Rich Internet Web Application enhanced with AMP publishing technology", Review of the "Henri Coandă" Air Force Academy No.1 (39)/2019, DOI: 10.19062/1842-9238.2019.17.1.9;
- [CG-14] Puddu Roberto, **Gavrila Cristinel**, Popescu Vlad, Murrone Maurizio, Sacchi Claudio "Self - Configurable IoT Satellite Gateway with QoS Traffic Management", 2021 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana, USA.
- [CG-15] **Cristinel Gavrila**, Vlad Popescu and Maurizio Murrone, *TV-Centric Health Monitoring Leveraging the HbbTV Architecture in a Smart Home Environment*, The IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting 2021, Chengdu, China

Bibliografie

- [1] Ahmad, A. Floris, and L. Atzori, "QoE-aware service delivery: A joint-venture approach for content and network providers," in Proc. 8th Int. Conf. Qual. Multimedia Exp. (QoMEX), Jun. 2016, pp. 1-6.
- [2] D. Rivera, N. Kushik, C. Fuenzalida, A. Cavalli, and N. Yevtushenko, "QoE evaluation based on QoS and QoBiz parameters applied to an OTT service," in Proc. IEEE Int. Conf. Web Services, New York, NY, USA, Dec. 2015, pp. 57-64.
- [3] A. Floris, A. Ahmad, and L. Atzori, "QoE-aware OTT-ISP collaboration in service management: Architecture and approaches," ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl., vol. 14, pp. 1-24, Apr. 2018.
- [4] D. Rivera and A. R. Cavalli, "QoE-driven service optimization aware of the business model," in Proc. 30th Int. Conf. Adv. Inf. Netw. Appl. Workshops (WAINA), 2016, pp. 725-730.

- [5] M. Seufert, S. Egger, M. Slanina, T. Zinner, T. Hoßfeld, and P. Tran-Gia, "A survey on quality of experience of HTTP adaptive streaming," *IEEE Commun. Surveys Tuts*, vol. 17, no. 1, pp. 469–492, 1st Quart., 2015.
- [6] P. Georgopoulos, Y. Elkhatib, M. Broadbent, M. Mu, and N. Race, "Towards network-wide QoE fairness using Openflow assisted adaptive video streaming," in *Proc. ACM SIGCOMM Workshop Future Human Centric Multimedia Netw.*, New York, NY, USA, Feb. 2013, pp. 15–20.
- [7] S. Baraković and L. Skorin-Kapov, "Survey and challenges of QoE management issues in wireless networks," *J. Comput. Netw. Commun.*, vol. 2013, pp. 1–28, Dec. 2013.
- [8] M. G. Martini, C. W. Chen, Z. Chen, T. Dagiuklas, L. Sun, and X. Zhu, "Guest editorial QoE-aware wireless multimedia systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, no. 7, pp. 1153–1156, Aug. 2012.
- [9] J. Liu, S. Zhang, N. Kato, H. Ujikawa, and K. Suzuki, "Device-to-device communications for enhancing quality of experience in software defined multi-tier LTE-A networks," *IEEE Netw.*, vol. 29, no. 4, pp. 46–52, Jul./Aug. 2015.
- [10] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. E. Veríssimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, "Software-defined networking: A comprehensive survey," *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14–76, Jan. 2015.
- [11] R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, N. Bouten, F. D. Turck, and R. Boutaba, "Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 18, no. 1, pp. 236–262, 1st Quart., 2016.
- [12] S. A. Alvi, B. Afzal, G. A. Shah, L. Atzori, and W. Mahmood, "Internet of Multimedia Things: Vision and challenges," *Ad Hoc Netw.*, vol. 33, pp. 87–111, Oct. 2015.
- [13] "Software Defined Radio Implementation (With simulation & analysis)," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 4, no. 8, pp. 21–27, 2010.
- [14] R. Chávez-Santiago, A. Mateska, K. Chomu, L. Gavrilovska, and I. Balasingham, "Applications of software-defined radio (SDR) technology in hospital environments," *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Conf.*, vol. 2013, pp. 1266–9, Jan. 2013.
- [15] W. O. Oduola, N. Okafor, O. Omotere, L. Qian, and D. Kataria, "Experimental study of hierarchical Software Defined Radio controlled Wireless Sensor Network," in *2015 36th IEEE Sarnoff Symposium*, 2015, pp. 18–23.
- [16] P. Dutta, Y.-S. Kuo, A. Ledeczi, T. Schmid, and P. Volgyesi, "Putting the software radio on a lowcalorie diet," in *Proceedings of the Ninth ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks - Hotnets '10*, 2010, pp. 1–6.
- [17] T. Mück and A. Fröhlich, "HyRA: a software-defined radio architecture for wireless embedded systems," *10th Int. Conf. networks*, pp. 246–251, 2011.
- [18] F. Barac, M. Gidlund, and T. Zhang, "CLAP: Chip-Level Augmentation of IEEE 802.15.4 PHY for Error-Intolerant WSN Communication," in *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2015, pp. 1–7.
- [19] B. Gu, J. Jung, K. Kim, J. Heo, N. Park, G. Jeon, and Y. Cho, "SWICOM: An SDR-Based Wireless Communication Gateway for Vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 4, pp. 1593–1605, May 2010.
- [20] P. Prakash, S. Lee, S. Noh, and D. Choi, "Issues in Realization of Cognitive Radio Sensor Networks," *International J. Control Autom.*, vol. 7, pp. 141–152, 2014.
- [21] G. Demirbaş and B. Emiroğlu, "COGNITIVE RADIO USAGE IN 6LOWPAN WIRELESS SENSOR NETWORKS," *Third Int. Conf. Digit.*, 2013.
- [22] Y. Jararweh and M. Al-Ayyoub, "Software Defined Cognitive Radio Network Framework: Design and Evaluation," *Int. J. Grid High Perform. Comput.*, pp. 1–31, 2015.
- [23] A. Araujo and J. Blesa, "Security in cognitive wireless sensor networks. Challenges and open problems.," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, 2012.
- [24] V. Loscri, A. Maskooki, N. Mitton, and A. Vegni, "Wireless Cognitive Networks Technologies and Protocols," *Model. Simul. Comput. Networks Syst. Methodol. Appl.*, 2015.
- [25] O. Akan, O. Karli, and O. Ergul, "Cognitive radio sensor networks," *IEEE Netw.*, vol. 23, no. 4, pp. 34–40, 2009.
- [26] R. Duke-Woolley, "Findings from ESA SAMOS project - Satellite M2m Observatory Study," in *2012 6th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference (ASMS) and 12th Signal Processing for Space Communications Workshop (SPSC)*, 2012, pp. 13–20.
- [27] L. Franck, M. Berlioli, and P. Boutry, "On the role of satellite communications for emergency situations with a focus on Europe," *Int. J. Satell. Commun. Netw.*, vol. 29, no. 5, pp. 387–399, 2011.
- [28] G. Cocco and C. Ibars, "On the Feasibility of Satellite M2M Systems," in *30th AIAA International Communications Satellite System Conference (ICSSC)*, 2012.
- [29] Q. Yang, D. I. Laurenson, and J. A. Barria, "On the Use of LEO Satellite Constellation for Active Network Management in Power Distribution Networks," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1371–1381, Sep. 2012.
- [30] A. Vaccaro and D. Villacci, "Performance analysis of low earth orbit satellites for power system communication," *Electr. Power Syst Res.*, vol. 73, no. 3, pp. 287–294, Mar. 2005.
- [31] G. Araniti, M. De Sanctis, S. C. Spinella, M. Monti, E. Cianca, A. Molinaro, A. Iera, and M. Ruggieri, "Hybrid system HAP-WiFi for incident area network," in *Personal Satellite Services – Second International ICST Conference, PSATS 2010, Rome, Italy, February 2010 Revised Selected Papers*, 2010, vol. 43, pp. 436–450.

- [32] M. Berioli, A. Molinaro, S. Morosi, and S. Scalise, "Aerospace Communications for Emergency Applications," *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 11, pp. 1922–1938, Nov. 2011.
- [33] L. Zhao, J. Yi, F. Adachi, C. Zhang, and H. Zhang, "Radio Resource Allocation for Low-Medium-Altitude Aerial Platform Based TD-LTE Networks against Disaster," in *2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2012, pp. 1–5.
- [34] E. Del Re, S. Jayousi, S. Morosi, L. S. Ronga, M. De Sanctis, E. Cianca, M. Ruggieri, E. Falletti, A. Iera, G. Araniti, and C. Sacchi, "SALICE project: Satellite-Assisted Localization and Communication Systems for Emergency Services," *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 28, no. 9, pp. 4–15, Sep. 2013.
- [35] G. Baldini, T. Sturman, A. Dalode, A. Kropp, and C. Sacchi, "An emergency communication system based on software-defined radio," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2014, no. 1, p. 169, Oct. 2014.
- [36] Y. Kawamoto, H. Nishiyama, Z. M. Fadlullah, and N. Kato, "Effective Data Collection Via Satellite-Routed Sensor System (SRSS) to Realize Global-Scaled Internet of Things," *IEEE Sens. J.*, vol. 13, no. 10, pp. 3645–3654, Oct. 2013.
- [37] I. Bisio and M. Marchese, "Efficient Satellite-Based Sensor Networks for Information Retrieval," *IEEE Syst. J.*, vol. 2, no. 4, pp. 464–475, Dec. 2008.
- [38] S. Vassaki, G. T. Pitsiladis, C. Kourogiorgas, M. Poulakis, A. D. Panagopoulos, G. Gardikis, and S. Costicoglou, "Satellite-based sensor networks: M2M Sensor communications and connectivity analysis," in *2014 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU)*, 2014, pp. 132–137.
- [39] M. De Sanctis, E. Cianca, G. Araniti, I. Bisio, and R. Prasad, "Satellite Communications Supporting Internet of Remote Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 1, pp. 113–123, Feb. 2016.
- [40] M. Papaleo, M. Neri, A. Vanelli-Coralli, and G. E. Corazza, "Using LTE in 4G satellite communications: Increasing time diversity through forced retransmission," in *2008 10th International Workshop on Signal Processing for Space Communications*, 2008, pp. 1–4.
- [41] I. Ishaq, D. Carels, G. Teklemariam, J. Hoebeke, F. Abeele, E. Poorter, I. Moerman, and P. Demeester, "IETF Standardization in the Field of the Internet of Things (IoT): A Survey," *J. Sens. Actuator Networks*, vol. 2, no. 2, pp. 235–287, Apr. 2013.
- [42] B. Evans, O. Onireti, T. Spathopoulos, and M. A. Imran, "The role of satellites in 5G," in *2015 23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 2015, pp. 2756–2760.
- [43] O. Del Rio Herrero and R. De Gaudenzi, "High Efficiency Satellite Multiple Access Scheme for Machine-to-Machine Communications," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 48, no. 4, pp. 2961–2989, Oct. 2012.
- [44] H. Sahota, R. Kumar, and A. Kamal, "Performance modeling and simulation studies of MAC protocols in sensor network performance," in *2011 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, 2011, pp. 1871–1876.
- [45] H. Bedon, "A DTN System for Nanosatellite-based Sensor Networks using a New ALOHA Multiple Access with Gateway Priority," *Smart Comput. Rev.*, vol. 3, no. 5, p. 383, Oct. 2013.
- [46] I. Bisio, M. Marchese, and G. Portomauro, "SAT05-3: Performance Evaluation of Sink Selection Techniques in Satellite Sensor Networks," in *IEEE Globecom 2006*, 2006, pp. 1–5.
- [47] I. Bisio and M. Marchese, "Power Saving Bandwidth Allocation over GEO Satellite Networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 5, pp. 596–599, May 2012.
- [48] G. Araniti, V. Scordamaglia, M. Condoluci, A. Molinaro, and A. Iera, "Efficient Frequency Domain Packet scheduler for Point-to-Multipoint transmissions in LTE networks," in *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2012, pp. 4405–4409.
- [49] RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, RFC 3550, Standard 64
- [50] Server and network assisted DASH (SAND), MPEG Part 5, ISO/IEC 23009
- [51] J. F. Jensen, "A short history of ITV trials and ITV consumer studies," in White Paper on Interactive TV, M. Rose, et al., Ed., pp. 21–53, Technical University of Denmark, 1999
- [52] H. Benoit, Digital Television: MPEG-1, MPEG-2 and Disciplines of the DVB System, Focal Press, London, UK, 2nd edition, 2002
- [53] Stylianos Papathanassopoulos, European Television in the Digital Age, Polity Press, London, UK, 2002.
- [54] ETSI Digital Video Broadcasting, IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG), ETSI TS 102 471, V1.2.1, 2006
- [55] F. Hartung, M. Kampmann, and T. Rusert, "The OMA BCAST standard for bearer-independent mobile TV services," in Proceedings of the International Workshop on Mobile Video (MV'07), pp. 13–18, ACM, Augsburg, Germany, September 2007
- [56] F. Hartung, U. Horn, J. Huschke, M. Kampmann, T. Lohmar, and M. Lundevall, "Delivery of broadcast services in 3G networks," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 188–198, 2007
- [57] C. Peng and P. Vuorimaa, "A digital navigator," in Proceedings of the 8th ACM International Conference on Multimedia (MULTIMEDIA '00), pp. 429–431, ACM, Los Angeles, Calif, USA, October 2000.
- [58] U. Reimers, DVB: Family of International Standards for Digital Video Broadcasting, Springer, Berlin, Germany, 2nd edition, 2005.
- [59] S. Morris and A. Smith-Chaigneau, Interactive TV Standards: A Guide to MHP, OCAP, and Java TV, Focal Press, London, UK, 2005.
- [60] Enhanced Teletext specification, ETS 300 706, 1997
- [61] SAT>IP Protocol Specification, Version 1.2.2, SES S.A., British Sky Broadcasting Ltd, Craftwork ApS
- [62] Hybrid Broadcast Broadband TV, v 2.0.2, ETSI TS 102 796 V1.6.1

- [63] W3C® Recommendation (28 October 2014): "HTML5 - A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML".
- [64] Open IPTV Forum Release 1 Specification, Volume 5 – Declarative Application Environment, [V1.2] – [2012-08-27] Reformatted 2012-09-21
- [65] ETSI TS 102 809: Digital Video Broadcasting (DVB); Signalling and carriage of interactive applications and services in hybrid broadcast / broadband environments; V 1.1.1
- [66] Open IPTV Forum Release 2 specification, volume 2 (V2.3): "Media Formats"
- [67] ETSI TS 103 606 V1.1.1 (2018-05), Hybrid Broadcast Broadband Television; Operator Applications
- [68] Corbillon, X.; Simon, G.; Devlic, A.; Chakareski, J. Viewport-adaptive navigable 360-degree video delivery. In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), Klagenfurt, Austria, 10–13 May 2017; pp. 1–7.
- [69] Xiao, M.; Zhou, C.; Liu, Y.; Chen, S. Optile: Toward optimal tiling in 360-degree video streaming. In Proceedings of the 25th ACM international conference on Multimedia, Mountain View, CA, USA, 17 October 2017; pp. 708–716.
- [70] Lee, J.; Lee, J.; Lim, J.; Kim, M. Bandwidth-Efficient Live Virtual Reality Streaming Scheme for Reducing View Adaptation Delay. *TIIS* 2019, 13, 291–304
- [71] Ghaznavi-Youvalari, R.; Zare, A.; Aminlou, A.; Hannuksela, M.M.; Gabbouj, M. Shared Coded Picture Technique for Tile-Based Viewport-Adaptive Streaming of Omnidirectional Video. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 2019, 29, 3106–3120, doi:10.1109/TCSVT.2018.2874179.
- [72] Ma, K.J.; Bartoš, R.; Bhatia, S. A survey of schemes for Internet-based video delivery. *J. Netw. Comput. Appl.* 2011, 34, 1572–1586.
- [73] Qian, F.; Ji, L.; Han, B.; Gopalakrishnan, V. Optimizing 360 video delivery over cellular networks. In Proceedings of the 5th Workshop on All Things Cellular: Operations, Applications and Challenges, New York, NY, USA, 30 October 2016; pp. 1–6.
- [74] Hosseini, M. View-aware tile-based adaptations in 360 virtual reality video streaming. In Proceedings of the 2017 IEEE Virtual Reality (VR), Los Angeles, CA, USA, 18–22 March 2017; pp. 423–424.
- [75] van der Hooff, J.; Vega, M.T.; Petrangeli, S.; Wauters, T.; De Turck, F. Optimizing adaptive tile-based virtual reality video streaming. In Proceedings of the 2019 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM), Washington, DC, USA, 8–12 April 2019; pp. 381–387.
- [76] Park, S.; Bhattacharya, A.; Yang, Z.; Dasari, M.; Das, S.R.; Samaras, D. Advancing User Quality of Experience in 360-degree Video Streaming. In Proceedings of the 2019 IFIP Networking Conference (IFIP Networking), Warsaw, Poland, 20–22 May 2019; pp. 1–9.
- [77] Hou, X.; Lu, Y.; Dey, S. A novel hyper-cast approach to enable cloud-based virtual classroom applications. In Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), San Jose, CA, USA, 11–13 December 2016; pp. 533–536.
- [78] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, Fourthquarter 2015.
- [79] S. N. Swamy, D. Jadhav, and N. Kulkarni, "Security threats in the application layer in IOT applications," in 2017 Int. Conf. on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, 2017, pp. 477–480.
- [80] MQTT Version 5.0. Edited by Andrew Banks, Ed Briggs, Ken Borgendale, and Rahul Gupta. 07 March 2019. OASIS Standard.
- [81] The Constrained Application Protocol (CoAP), IETF RFC 7252, 2014
- [82] Extensible messaging and presence protocol (XMPP): Core, IETF RFC 6120, 2011
- [83] IEEE Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-- Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz., in IEEE Std 802.11ac-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012), vol., no., pp.1-425, Dec. 18 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6687187
- [84] N. V. R. Kumar, B. S. B. Praveen, A. V. S. Reddy and B. B. Sam, "Study on IOT with reference of M2M and WiFi," 2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES), Chennai, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICICES.2017.8070754
- [85] M. R. Maheshwarappa, M. Bowyer, and C. P. Bridges, "Software Defined Radio (SDR) architecture to support multi-satellite communications," in 2015 IEEE Aerospace Conference, 2015, pp. 1–10.
- [86] E. Kneller, K. Hyer, T. McIntyre, D. Jones, and C. Swenson, "Cadet: A high data rate software defined radio for smallsat applications," 2012.
- [87] H. Lurie, "Modular Software Defined Radios for Space to Earth Communications," 2014.
- [88] K. Varnavas, W. Sims, and J. Casas, "The Use of Field Programmable Gate Arrays (FPGA) in Small Satellite Communication Systems," 2015.
- [89] E. Grayver, A. Chin, J. Hsu, S. Stanev, D. Kun, and A. Parower, "Software defined radio for small satellites," in 2015 IEEE Aerospace Conference, 2015, pp. 1–9.
- [90] E. Baceski, S. Gokcebag, A. Erdem, C. G. Erbay, M. Akyol, K. Arslankoz, I. Arslan, M. A. Agca, Y. B. Aydin, A. R. Aslan, and O. Ceylan, "HAVELSAT: A software defined radio experimentation CubeSat," in 2015 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), 2015, pp. 831–834.

- [91] R. Buffington and C. Kief, "GENSO, SPA, SDR, and GNU Radio: The Pathway Ahead for Space Dial Tone," in *Infotech@Aerospace 2011*, 2011.
- [92] Z. Leffke, "Distributed ground station network for cubesat communications," 2014.
- [93] M. Maheshwarappa, M. Bowyer, and C. Bridges, "Software Defined Radio (SDR) for Parallel Satellite Reception in Mobile/Deployable Ground Segments," in *AIAA/USU Conference on Small Satellites*, 2015.
- [94] V. Dascal, P. Dolea, O. Cristea, and T. Palade, "Low-cost SDR-based ground receiving station for LEO satellite operations," in *2013 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, 2013, pp. 627–630.
- [95] D. Digdarsini, M. Kumar, G. Khot, T. V. S. Ram, and V. K. Tank, "FPGA implementation of automatic modulation recognition system for advanced SATCOM system," in *2014 International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 2014, pp. 464–469.
- [96] R. Akhtyamov, I. L. i Cruz, and A. Golkar, "SOFTWARE DEFINED RADIO IMPLEMENTATION OF A NEGOTIATOR NODE TESTBED FOR FEDERATED SATELLITE SYSTEMS," in *International Astronautical Congress, Jerusalem, Israel*, 2015.
- [97] C. Timmerman, M. Wright, and T. Brick, "Extension of DVB-S2 capabilities for high rate AISR data transport," in *MILCOM 2009 - 2009 IEEE Military Communications Conference*, 2009, pp. 1–7.
- [98] J. A. Larsen, H. P. Mortensen, and J. D. Nielsen, "An SDR based AIS receiver for satellites," in *Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies - RAST2011*, 2011, pp. 526–531.
- [99] N. Suematsu, S. Kameda, H. Oguma, M. Sasanuma, S. Eguchi, and K. Kuroda, "Multi-mode portable VSAT for disaster-resilient wireless networks," *Microwave Conference (APMC), 2014 Asia-Pacific. IEEE*, pp. 549–551, 2014.
- [100] J. Ylitalo, A. Hulkkonen, M. Höyhty, A. Byman, M. Leinonen, J. Janhunen, and A. Roivainen, *Cooperative and Cognitive Satellite Systems*. Elsevier, 2015.
- [101] M. Fischer, "Multi-mission satellite ground station for education and research," 2012.
- [102] A. Alilla, A. Di Carlofelice, M. Faccio, I. Lucresi, and P. Tognolatti, "Software-defined satellite ranging measurements using laboratory signal analyzer," in *2014 IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)*, 2014, pp. 332–336.
- [103] I. Lucresi, A. Di Carlofelice, P. Tognolatti, I. Lucresi, A. Di Carlofelice, and P. Tognolatti, "SDR-based system for satellite ranging measurements," *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 31, no. 1, pp. 8–13, Jan. 2016.
- [104] L. Lo Presti, P. di Torino, E. Falletti, M. Nicola, and M. T. Gamba, "Software Defined Radio technology for GNSS receivers," in *2014 IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)*, 2014, pp. 314–319.
- [105] R. Filjar, D. Huljenić, and K. Lenac, "Enhancing performance of GNSS position estimator by cloudbased GNSS SDR receiver architecture utilisation," pp. 315–318.
- [106] K. Khatri and N. Gajjar, "Reconfigurable architectures for GNSS receiver," in *2012 Nirma University International Conference on Engineering (NUICONE)*, 2012, pp. 1–6.
- [107] R. Falone, C. Stallo, E. Gambi, and S. Spinsante, "SDR GNSS receivers: A comparative overview of different approaches," in *2014 IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)*, 2014, pp. 326–331.
- [108] M. T. Gamba, M. Nicola, and E. Falletti, "Performance assessment of an ARM-based dual constellation GNSS software receiver," in *2015 International Conference on Location and GNSS (ICLGNSS)*, 2015, pp. 1–6.
- [109] C. Agostara, C. Dionisio, G. Sgroi, and A. di Salvo, "MIOSAT Mission Scenario and Design," *Proc. 45 Symp. Small Satell. Syst. Serv.*, 2008.
- [110] S. K. Johnson, R. C. Reinhart, and T. J. Kacpura, "CoNNeCT's approach for the development of three Software Defined Radios for space application," in *2012 IEEE Aerospace Conference*, 2012, pp. 1–13.
- [111] M. Schadhauer, J. Robert, and A. Heuberger, "Design of autonomous base stations for low power wide area (LPWA) communication," in *Proc. SmartSysTech; Eur. Conf. Smart Objects, Syst. Technol.*, Jun. 2017, pp. 1_8.
- [112] Y. Ma, Y. Zeng, and S. Sun, "A software defined radio based multi-function radar for IoT applications," in *Proc. 24th Asia-Pac. Conf. Commun. (APCC)*, Nov. 2018, pp. 239_244.
- [113] X. Xiong, T. Wu, H. Long, and K. Zheng, "Implementation and performance evaluation of LECIM for 5G M2M applications with SDR," in *Proc. IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Dec. 2014, pp. 612_617.
- [114] C.-F. Li, J.-K. Hwang, C. Ma, and C.-J. Lin, "Software defined radio implementation of LTE R13 NB-IoT downlink vector signal generator," in *Proc. IEEE Int. Conf. Consum. Electron. Taiwan (ICCE-TW)*, Jun. 2017, pp. 69_70.
- [115] Y. Park, S. Kuk, I. Kang, and H. Kim, "Overcoming IoT language barriers using smartphone SDRs," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 16, no. 3, pp. 816_828, Mar. 2017.
- [116] Y. Chen, S. Lu, H.-S. Kim, D. Blaauw, R. G. Dreslinski, and T. Mudge, "A low power software-defined-radio baseband processor for the Internet of Things," in *Proc. IEEE Int. Symp. High Perform. Comput. Archit. (HPCA)*, Mar. 2016, pp. 40_51.
- [117] T. Balan, A. Balan, and F. Sandu, "SDR implementation of a D2D security cryptographic mechanism," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 38847_38855, 2019.
- [118] S. Majumder, "Energy detection spectrum sensing on RTL-SDR based IoT platform," in *Proc. Conf. Inf. Commun. Technol. (CICT)*, Oct. 2018, pp. 1_6.

- [119] M. Kist, J. Rochol, L. A. DaSilva, and C. B. Both, "SDR virtualization in future mobile networks: Enabling multi-programmable air-interfaces," in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC), May 2018, pp. 1_6.
- [120] T. Ahmed, A. Alleg, and N. Marie-Magdelaine, "An architecture framework for virtualization of IoT network," in Proc. IEEE Conf. Netw. Soft- warization (NetSoft), Jun. 2019, pp. 183_187.
- [121] Satellite Earth Stations and Systems: Return Link Encapsulation protocol, v1.1.1, ETSI TS 103 179
- [122] C. Marchand and E. Boutillon, "LDPC decoder architecture for DVBS2 and DVB-S2X standards," in Proc. IEEE Workshop Signal Process. Syst. (SiPS), Hangzhou, China, May 2016, pp. 15, doi: 10.1109/SiPS. 2015.7345034
- [123] C.-F. Lai, Y.-M. Huang, and H.-C. Chao, "Dlna-based multimedia sharing system for osgi framework with extension to p2p network," IEEE SYSTEMS JOURNAL, vol. 4, no. 2, 2010.
- [124] M. Carnesecchi, A. Rizzo, A. Alessandrini, M. Caporali, and M. Milani, "Designing ilook: An integrated, zoomable interface to support users' interaction with networked home appliances," PsychNology Journal, vol. 9, no. 3, 2011
- [125] T. Koskela and K. Väänänen-Vainio-Mattila, "Evolution towards smart home environments: empirical evaluation of three user interfaces," Personal and Ubiquitous Computing, vol. 8, no. 3, 2004.
- [126] M. Z. Bjelica and N. Teslic, "A concept and implementation of the embeddable home controller," in MIPRO, 2010 Proceedings of the 33rd International Convention. IEEE, 2010.
- [127] J. K. Omwoyo et al., "Embedded monitoring server," 2007
- [128] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things: A survey," in Computer Networks, vol. 54, no. 15, 2010, pp. 2787–2805.
- [129] M. Moazzami, G. Xing, D. Mashima, W. Chen, and U. Herberg, "SPOT: A smartphone-based platform to tackle heterogeneity in smart-home IoT systems," in 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WFloT), Reston, VA, USA, 12–14 Dec. 2016, pp. 514–519.
- [130] F. A. M. Alves and C. Thangaraj, "A scalable modular heterogeneous system for home and office automation," in 2016 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC), Cambridge, MS, USA, 4–6 Nov. 2016, pp. 1–4.
- [131] M. Yusufov and I. Kornilov, "Roles of smart tv in iot-environments: A survey," in 2013 13th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 22–26 April 2013, Petrozavodsk, Russia.
- [132] E. Park, Y. Cho, J. Han, and S. J. Kwon, "Comprehensive approaches to user acceptance of internet of things in a smart home environment," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 4, no. 6, 2017, pp. 2342–2350.
- [133] M. Torres Vega, C. Perra, F. De Turck, and A. Liotta, "A review of predictive quality of experience management in video streaming services," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 64, no. 2, 2018, pp. 432–445.
- [134] A. Islam, "Android application based smart home automation system using internet of things," in 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Pune, India, 6–8 April 2018, pp. 1–9.
- [135] L. Jalal, M. Anedda, V. Popescu, and M. Murrioni, "QoE assessment for IoT-based multi sensorial media broadcasting," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 64, no. 2, 2018, pp. 552–560.
- [136] Integrated broadcast-broadband systems, BT Series Broadcasting service (television), Report ITU-R BT.2267-6, 2016
- [137] A. Domínguez, M. Agirre, J. Flórez, A. Lafuente, I. Tamayo, and M. Zorrilla, "Deployment of a hybrid broadcast-internet multi-device service for a live TV programme," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 64, no. 1, 2018, pp. 153–163.
- [138] R. Sotelo, J. Joskowicz, and N. Rondán, "An integrated broadcastbroadband system that merges ISDB-t with HbbTV 2.0," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 64, no. 3, 2018, pp. 709–720.
- [139] B. Farias, N. Araújo, R. Fabrício, J. B. d. Costa, and E. B. d. L. Filho, "A methodology for convergence between ginga and HbbTV," in 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, USA, 11–13 Jan. 2019, pp. 1–4.
- [140] P. A. Fam, S. Paquelet, M. Crussi re, J. H lard, and P. Br tillon, "Analytical derivation and optimization of a hybrid unicast-broadcast network for linear services," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 62, no. 4, 2016, pp. 890–902
- [141] F. Boronat, D. Marfil, M. Montagud, and J. Pastor, "HbbTV-compliant platform for hybrid media delivery and synchronization on single- and multi-device scenarios," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 64, no. 3, 2018, pp. 721–746.
- [142] H. S nchez, C. Gonz lez-Contreras, J. E. Agudo, and M. Mac as, "Iot and itv for interconnection, monitoring, and automation of common areas of residents," in Applied Science, vol. 7, no. 7, 2017, p. 696.
- [143] H. Ogawa, H. Ohmata, M. Ikeo, A. Fujii, and H. Fujisawa, "System architecture for content-oriented iot services," in 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 11–15 March 2019, Kyoto, Japan.
- [144] D. Marfil, F. Boronat, A. Sapena, and A. Vidal, "Synchronization mechanisms for multi-user and multi-device hybrid broadcastand broadband distributed scenarios," in IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 605–624.
- [145] I. Topalli and S. Kilinc, "Modelling user habits and providing recommendations based on the hybrid broadcast broadband television using neural networks," in IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 62, no. 2, 2016, pp. 182–190.
- [146] Ramesh, Chitra and Sekar, Jayalakshmi, "A survey on health care systems using internet of things," ITM Web Conf., vol. 37, p. 01015, 2021.
- [147] TS 102 822-3-1 - V1.7.1 - Broadcast and On-line Services: Search, select, and rightful use of content on personal storage systems ("TVAnytime"); Part 3: Metadata; Sub-part 1: Phase 1 - Metadata schemas

- [148] ITU-R BT.2022: General viewing conditions for subjective assessment of quality of SDTV and HDTV television pictures on flat panel displays - BT Series Broadcasting service (television)(08-2012).
- [149] Snellen, "Size of letters required for visibility as a function of viewing distance and observer visual acuity," in U.S. Dept. Commerce DC, USA, and Nat. bureau Stand., Gaithersburg, MD, USA, vol. 1, no. 6, 1983, pp. 457–478.
- [150] S. Ishihara, "Tests for color blindness," in American Journal of Ophthalmology, vol. 1, no. 6, 1917, pp. 457–478.
- [151] ITU-R BT.500-14: Methodologies for the subjective assessment of the quality of television images.
- [152] ITU P.911: Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications
- [153] Jeyhun Karimov, Stream benchmarks, pp. 1595–1600, Springer International Publishing, Cham, 2019. 1
- [154] TS 102 822-3-1 - V1.7.1 - Broadcast and On-line Services: Search, select, and rightful use of content on personal storage systems ("TVAnytime"); Part 3: Metadata; Sub-part 1: Phase 1 - Metadata schemas
- [155] ETSI TS 102 721-1, "Satellite Earth Stations and Systems; Air Interface for S-band Mobile Interactive Multimedia (S-MIM);" – Part 1: General System Architecture and Configurations" V1.1.1.
- [156] ETSI TS 102 721-2, "Satellite Earth Stations and Systems; Air Interface for S-band Mobile Interactive Multimedia (S-MIM);" – Part 2: Forward Link Subsystem Requirements" V1.1.1.
- [157] ETSI TS 102 721-3, "Satellite Earth Stations and Systems; Air Interface for S-band Mobile Interactive Multimedia (S-MIM);" – Part 3: Physical Layer Specification, Return Link Asynchronous Access" V1.1.1.
- [158] ETSI TS 102 721-4, "Satellite Earth Stations and Systems; Air Interface for S-band Mobile Interactive Multimedia (S-MIM);" – Part 4: Physical Layer Specification, Return Link Synchronous Access" V1.1.1.
- [159] ETSI TS 102 721-5, "Satellite Earth Stations and Systems; Air Interface for S-band Mobile Interactive Multimedia (S-MIM);" – Part 5: Protocol Specifications, Link Layer" V1.1.1.
- [160] ETSI TS 102 721-6, "Satellite Earth Stations and Systems; Air Interface for S-band Mobile Interactive Multimedia (S-MIM);" – Part 6: Protocol Specifications, System Signalling" V1.1.1.
- [161] Digital Video Broadcasting (DVB); Generic Stream Encapsulation (GSE) Protocol; ETSI TS 102 606 V1.1.1 (2007-10)

Web-grafie

- *adresele de maijos erau active la data redactării (jumătatea lunii iunie 2021)*

- [W-1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022 White Paper. [Online]: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/serviceprovider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf>.
- [W-2] Deloitte, The future of virtual health [Online] <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/health-care/future-of-virtual-health.html>
- [W-3] Frost & Sullivan, Internet of Medical Things (IoMT) Forecast to 2021 report [Online]. Disponibil la: <https://store.frost.com/internet-of-medical-things-forecast-to-2021.html>
- [W-4] "Satellite Machine-to-Machine (M2M) Services (MCP-6084) - Global Industry Analysts, Inc." [Online]. Disponibil la: http://www.strategyr.com/Satellite_Machine_to_Machine_M2M_Services_Market_Report.asp.
- [W-5] Televiziune Digitală Terestră [Online]. Disponibil la: <https://sapec.es/difusion-tv/>
- [W-6] Ben Dickson, July 2016, 4 Major Technical Challenges Facing IoT Developers, [Online] <https://www.sitepoint.com/4-major-technical-challenges-facing-iot-developers/>
- [W-7] Robbie Mitchell, 20 October 2015, 5 challenges of the Internet of Things, [Online] <https://blog.apnic.net/2015/10/20/5-challenges-of-the-internet-of-things/>
- [W-8] Aritra Sarkhel, 5 challenges to Internet of Things, [Online] <https://tech.economictimes.indiatimes.com/news/internet/5-challenges-to-internet-of-things/52700940>
- [W-9] Cisco VNI, The Zettabyte Era: Trends and Analysis, June 2014
- [W-10] Application-Oriented Optimization of Media-Streaming with MPEG-DASH, [Online]. Disponibil la: <https://www.fokus.fraunhofer.de/en/fame/projects/anopas>
- [W-11] The TV-Anytime, "TV-Anytime Forum," 2009, [Online]. Disponibil la: <http://www.tv-anytime.org>.
- [W-12] Ghid electronic de programe, Occilion STB, [Online]. Disponibil la: <https://www.tara-systems.de/success-stories/ocilion/>
- [W-13] Ocilion STB, [Online]. Disponibil la: <https://ocilion.com/en.html>
- [W-14] Inaris middleware [Online]. Disponibil la: <https://www.tara-systems.de/tv-solutions/inaris-dvb-iptv-middleware/>
- [W-15] Aplicație TVolution – Tara Systems, [Online]. Disponibil la: <https://www.tara-systems.de/solutions/turnkey-solution/>
- [W-16] Aplicație LiveOn TV – Tara Systems, [Online]. Disponibil la: <https://www.tara-systems.de/solutions/live-on-tv-application/>
- [W-17] Aplicație HD+ Extrascreen [Online]. Disponibil la: <https://www.hd-plus.de/themen/extrascreen>
- [W-18] Android TV, [Online]. Disponibil la: <https://developer.android.com/tv>

- [W-19] Android TV – Principii design, [Online]. Disponibil la: <https://tv.withgoogle.com/design-principles/designing-for-tv.html>
- [W-20] Cadrul de dezvoltare Android TV, [Online]. Disponibil la: <https://source.android.com/devices/tv>
- [W-21] Zattoo TV, [Online]. Disponibil la: <https://zattoo.com/int>
- [W-22] Azure Media Services [Online], <https://azure.microsoft.com/en-us/services/media-services>
- [W-23] "What is the difference between M2M and IoT? | Welcome to The IoT World of Telefónica." [Online]. Disponibil la: <https://iot.telefonica.com/blog/what-is-the-difference-between-m2m-and-iot>
- [W-24] "Requirements — IOT-A: Internet of Things Architecture." [Online]. Disponibil la: http://www.iota.eu/public/requirements/copy_of_requirements.
- [W-25] J. Gunther, "Dynamic Ionosphere CubeSat Experiment - Ettus Research." [Online]. Disponibil la: <https://www.ettus.com/application/detail/dynamic-ionosphere-cubesat-experiment-high-speedsatellite-ground-station>.
- [W-26] "SatNOGS | Satellite Networked Open Ground Station." [Online]. Disponibil la: <https://satnogs.org/>.
- [W-27] "Internet of Things: Prime Time for Satellite? - Northern Sky Research." [Online]. Disponibil la: <http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/internet-of-things-prime-time-for-satellite/>
- [W-28] "SPOT SATELLITE MESSENGER :: HOME PAGE." [Online]. Available: <http://www.findmespot.eu/en/>
- [W-29] "DeLorme inReach - Two-way satellite text messaging, tracking and SOS anywhere in the world." [Online]. Disponibil la: <http://www.inreachdelorme.com/>.
- [W-30] "Vehicle Telematics, Tracking and Driver Monitoring: SkyWave IDP-782| ORBCOMM." [Online]. Disponibil la: <http://www.orbcomm.com/en/hardware/devices/skywave-idp-782>.
- [W-31] "HawkEye 5300 (HE5300) GPS Vessel tracking device | Blue Sky Network." [Online]. Disponibil la: <http://blueskynetwork.com/product/hawkeye-5300/>.
- [W-32] "HawkEye Tracking | Aircraft Communication | Blue Sky Network." [Online]. Disponibil la: <http://blueskynetwork.com/product/hawkeye-7200-aviation-he7200a/>.
- [W-33] "ViaSat High Performance Aviation Terminal 2220." [Online]. Available: https://www.viasat.com/sites/default/files/media/documents/high_performance_aviation_terminal_2220_ww_datasheet_018_web.pdf.
- [W-34] "exactAIS." [Online]. Disponibil la: <http://www.exactearth.com/products/exactais>.
- [W-35] "Satellite AIS Ship Tracking: Automatic Identification System | ORBCOMM." [Online]. Disponibil la: <http://www.orbcomm.com/en/networks/satellite-ais>.
- [W-36] "Hughes 9502 M2M BGAN Terminal & Service." [Online]. Disponibil la: http://www.groundcontrol.com/Hughes_9502_M2M_BGAN.htm.
- [W-37] "Satellite Communications Terminals: SkyWave IDP 600 Series | ORBCOMM." [Online]. Disponibil la: <http://www.orbcomm.com/en/hardware/devices/skywave-idp-600-series>.
- [W-38] "TOUGHSAT XP - 1.2 and .98 Meter Mobile Satellite Internet from Ground Control." [Online]. Disponibil la: http://www.groundcontrol.com/prod_Toughsat_XP.htm.
- [W-39] "Indra Company - SOFTWARE-RADIO SATELLITE COMUNICATIONS IP MODEMS." [Online]. Disponibil la: http://www.indracompany.com/sites/default/files/sr_40-50.pdf.
- [W-40] "SDR-4000 with Inmarsat BGAN - Spectrum Signal Processing by Vecima." [Online]. Disponibil la: <http://www.spectrumsignal.com/project/sdr-4000-with-inmarsat-bgan/>.
- [W-41] Transmițător DVB-S2/X – implementare [Online]. Disponibil la: https://kb.ettus.com/Transmitting_DVB-S2_with_GNU_Radio_and_an_USRP_B210
- [W-42] W3ORG. Accessibility guidelines. [Online]. Disponibil la: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/#seizures-and-physical-reactions>
- [W-43] ITU. Bt.1702 : Guidance for the reduction of photosensitive epileptic seizures caused by television. [Online]. Disponibil la: <https://www.itu.int/dms/pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.1702-2-201910-I!!PDF-E.pdf>
- [W-44] Soluție Cloudflare Orbit [Online]. Disponibil la: <https://blog.cloudflare.com/orbit/>
- [W-45] Soluție Bitdefender BOX [Online]. Disponibil la: <https://www.bitdefender.ro/box/>
- [W-46] Quickline Box [Online]. Disponibil la: <https://www.quickline.ch/femsehen/quickline-tv/quickline-box/>
- [W-47] USRP E310 [Online]. Diponibil la: <https://www.ettus.com/all-products/e310/>

Rezumat

Teza de doctorat "Contribuții la Distribuția Fluxurilor Digitale în Rețelele de Comunicații" se axează pe analiza, identificarea, definirea conceptuală/arhitecturală și implementarea de metode, mecanisme și soluții pentru extinderea și îmbunătățirea tehnologiilor de distribuție, procesare și consum a fluxurilor digitale în rețelele de comunicații. Prezenta teză urmărește extinderea tehnologiilor existente și identificarea de noi modele de distribuție, procesare și consum a fluxurilor digitale prin intermediul unei abordări bazate pe sinergia a trei mari concepte: televiziune, servicii OTT și IoT. S-a evidențiat principalul și poate cel mai important mecanism de distribuție a fluxurilor multimedia în rețelele de bandă largă în speță conceptul de streaming multimedia și au fost propuse o serie de soluții de dimensionare a platformelor de streaming precum și de management al lățimii de bandă. Au fost tratate pe larg aspecte legate de televiziunea de ultimă generație raportate la: soluțiile software existente; la sistemele TV moderne și la mediile și modelele de distribuție.

În scenariile actuale în care au loc sinergii între conținutul multimedia propriu-zis, mecanisme de livrare și modele de consum, o abordare logică este migrarea către Cloud. În contextul comunicațiilor M2M/IoT a fost prezentat rolul legăturilor satelitare precum și cel al dispozitivelor de tip SDR – ca portal hibrid de management, control și acces. Din perspectiva convergenței IoT-OTT-TV, teza prezintă o serie de mecanisme, servicii și soluții care mizează pe sinergia acestor trei domenii (aparent necorelate) pentru a îmbunătăți considerabil calitatea experienței și gama de servicii oferite în mediul local inteligent.

Abstract

The "Contributions to Digital Streams Distribution in Communication Networks" PhD thesis focuses on the analysis, identification, conceptual/architectural definition and implementation of methods, mechanisms and solutions for expanding and improving the digital streams distribution, processing and consumption technologies in communications networks. This thesis aims to expand existing technologies and identify new distribution, processing and consumption models of digital streams using an approach based on the synergy of three major concepts: television, OTT and IoT. There were highlighted the main and perhaps the most important mechanism for distributing multimedia streams in broadband networks in this case the concept of multimedia. Latest generation television topics were presented in detail and cover: existing software solutions; modern TV systems/devices and distribution environments and models. In current scenarios where synergies between the multimedia content itself, delivery mechanisms and consumption patterns are the enabler of new services deployment and increased QoE, a logical approach is to migrate to the Cloud. In the M2M/IoT communications context, it was highlighted the role of satellite links and SDR devices - as a hybrid portal for management, control and access. It was implemented a satellite connectivity solution for M2M/IoT/IoRT applications, deployed on a single device which acts as a gateway between the terrestrial and satellite plans. From the IoT-OTT-TV convergence perspective, the thesis presents a series of mechanisms, services and solutions which rely on the synergy of these three areas (apparently unrelated) to significantly improve the quality of experience and the range of offered services.