Universitatea Ştefan cel Mare Suceava

**Noi soluţii pentru creşterea eficienţei transferurilor de date în reţelele TCP / IP**

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Adrian GRAUR

Student doctorand: ing. Radu-Cezar Tărăbuță

Cuprins

[I STADIUL ACTUAL AL EVOLUŢIEI SERVICIILOR QOS ÎN REȚELELE TCP/IP 5](#_Toc452991553)

[*I.1* *Introducere* 5](#_Toc452991554)

[1.2 Modelul OSI 7](#_Toc452991555)

[1.2.1 Nivelul Fizic 7](#_Toc452991556)

[1.2.2 Nivelul Legătură de date (Data-Link) 8](#_Toc452991557)

[1.2.3 Nivelul rețea 10](#_Toc452991558)

[1.2.4 Nivelul transport 11](#_Toc452991559)

[1.2.5 Nivelul sesiune 12](#_Toc452991560)

[1.2.6 Nivelul prezentare 12](#_Toc452991561)

[1.2.7 Nivelul Aplicație 13](#_Toc452991562)

[I.3 Rețeaua de calculatoare 13](#_Toc452991563)

[I.4 Arhitecturi de rețea 16](#_Toc452991564)

[I.5 Familia de protocoale IEEE 802.x 16](#_Toc452991565)

[I.6 Modelul Best Effort 18](#_Toc452991566)

[I.7 Garantarea serviciilor 19](#_Toc452991567)

[I.8 Metode de control a traficului 20](#_Toc452991568)

[I.8.1 Algoritmul CBQ 21](#_Toc452991569)

[I.8.2 Algoritmii H-PFQ și H-FSC 22](#_Toc452991570)

[I.9 Managementul rețelelor de calculatoare 23](#_Toc452991571)

[I.10 Protocoale de rutare : 27](#_Toc452991572)

[I.10.1 Protocolul RIP (Routing Information Protocol). 28](#_Toc452991573)

[I.10.2 Protocolul IGRP (Interior Gateway Protocol) 28](#_Toc452991574)

[I.10.3 Protocolul OSPF (Open Shortest Path First) 28](#_Toc452991575)

[I.10.4 Protocolul BGP (Border Gateway protocol) 29](#_Toc452991576)

[I.10.5 Selecția căilor în BGP 30](#_Toc452991577)

[I.11 MPLS 31](#_Toc452991578)

[1.12 Tehnologia SDH 32](#_Toc452991579)

[I.12.1 Avantajele tehnologiei SDH 32](#_Toc452991580)

[I.12.2 Standardele SDH 33](#_Toc452991581)

[I.12.3 Când utilizăm tehnologia SDH? 33](#_Toc452991582)

[I.12.4 Echipamentele utilizate în tehnologia SDH 34](#_Toc452991583)

[I.12.5 Structura frame-urilor SDH 36](#_Toc452991584)

[1.12.6 Compatibilitatea cu alte tehnologii 38](#_Toc452991585)

[I.13 Clasificarea traficului 41](#_Toc452991586)

[I.14 Concluzii 42](#_Toc452991587)

[II NOŢIUNI DESPRE TRANSMISIUNILE ÎN FORMAT DIGITAL 43](#_Toc452991588)

[II.1 Introducere 43](#_Toc452991589)

[II.2 Noțiuni generice despre calitatea serviciilor 45](#_Toc452991590)

[II.2.1 Noțiuni teoretice fundamentale care stau la baza parametrilor QoS 47](#_Toc452991591)

[II.2.2 Teoria probabilităților 47](#_Toc452991592)

[II.2.3 Teoria cozilor de așteptare 47](#_Toc452991593)

[II.2.4 Teoria variabilelor aleatoare 49](#_Toc452991594)

[II.2.5 Variabile aleatoare discrete 50](#_Toc452991595)

[II.2.6 Variabile aleatoare continue 50](#_Toc452991596)

[II.2.7 Metode de îmbunătăţire a parametrilor TCP/IP 51](#_Toc452991597)

[II.2.8 Metode de îmbunătățire a parametrilor TCP/IP în transmisiunile Wireless. 52](#_Toc452991598)

[II.2.9 Îmbunătățirea transmisiunilor TCP în legăturile pe fibră optică. 56](#_Toc452991599)

[II.3 Noțiuni despre transmisia streamurilor video în format digital 56](#_Toc452991600)

[II.4 Codere video 58](#_Toc452991601)

[II.5 Metode de îmbunătățire a transmisiunilor VoIP & Video 60](#_Toc452991602)

[II.5.1 Codecuri utilizate în transmisiile digitale 61](#_Toc452991603)

[II.5.2 Predictibilitatea mișcării 63](#_Toc452991604)

[II.5.3 Probleme care afectează calitatea transmisiilor digitale 64](#_Toc452991605)

[II.6 DLNA (Digital Living Network Alliance) 65](#_Toc452991606)

[II.6.1 Performanțele protocolului DLNA 66](#_Toc452991607)

[II.7 Wifi direct 66](#_Toc452991608)

[II.7.1 Performanțele standardului wifi direct 67](#_Toc452991609)

[II.8 802.11ac 68](#_Toc452991610)

[II.9 Multicast & Unicast 71](#_Toc452991611)

[II.10 Concluzii 73](#_Toc452991612)

[III Contribuții la îmbunătățirea parametrilor TCP/IP 75](#_Toc452991613)

[III.1 Scenariu de evaluare a transmiterii pachetelor multicast 75](#_Toc452991614)

[III.2 Sistemul de calcul utilizat în partea experimentală 84](#_Toc452991615)

[III.2.1 Partea Hardware 84](#_Toc452991616)

[III.2.2 Partea SOFTWARE 87](#_Toc452991617)

[III.3 Soluţii noi de îmbunătățire a transmisiei stream-urilor video 93](#_Toc452991618)

[III.3.1 Alte metode de îmbunătățire a transmisiei datelor 101](#_Toc452991619)

[III.3.2 Metoda transmisiunilor paralele 101](#_Toc452991620)

[III.4 Concluzii 107](#_Toc452991621)

[Concluzii generale 108](#_Toc452991622)

[Contribuții şi direcții de cercetare viitoare 110](#_Toc452991623)

[Bibliografie 112](#_Toc452991624)

[Listă de abrevieri 115](#_Toc452991625)

[Lista Figurilor 117](#_Toc452991626)

[Glosar de termeni 118](#_Toc452991627)

[ANEXE 120](#_Toc452991628)

#  *Introducere*

Conceptul de internet reprezintă totalitatea rețelelor de calculatoare conectate între ele la nivel mondial. Există desigur și rețele de calculatoare care nu sunt conectate la internet. De fapt, aruncând o privire asupra istoriei conceptului, observăm că așa a fost la început: mai multe tipuri de rețele compuse din mai multe tipuri de echipamente, funcționând ca entități separate. Fiecare dintre aceste entităţi deservea o instituţie sau un grup de instituții, iar întinderea lor era, la început, doar la nivelul clădirilor. În acele perioade când se puneau bazele standardelor cu care lucrăm astăzi, nici echipamentele nu puteau puteau comunica între ele la nivel hardware. Fiecare producător utiliza un tip diferit de conectori între terminalele computerelor și chiar între terminalele din rețea, dar cel mai important este faptul că se utilizau semnale și algoritmi diferiți pentru a transmite informația de la un echipament la altul. Fiecare producător îşi păstra secretul propriei tehnologii. Cea mai mare problemă a apărut în momentul în care s-a impus interconectarea tuturor acestor rețele, iar păstrarea secretului nu a mai fost o opţiune. În acest punct al evoluţiei internetului, a intervenit standardizarea. Marii producători de echipamente, împreună cu universitățile și institutele de cercetări, au elaborat primele standarde care se folosesc și azi. Practic, această standardizare s-a impus, în primul rând, asupra semnalelor, frecvențelor și algoritmilor folosiți în transmiterea datelor; s-a realizat apoi și pentru partea de conectică.

 Primele servicii din/de internet au fost DNS-ul și mail-ul. La început, numărul *host*-urilor din internet era de ordinul zecilor, apoi de ordinul sutelor. Treptat, lucrurile au evoluat atât pe partea hardware cât și pe partea software, iar tehnologiile existente nu mai făceau față noilor cerințe din foarte multe puncte de vedere. În primul rând, acest lucru s-a datorat lățimii de bandă, și apoi dezvoltării unui număr din ce în ce mai mare de servicii pe o infrastructură care nu a fost proiectată pentru a transporta un volum atât de mare de date. Astfel, s-a impus redefinirea standardelor, atât din punct de vedere software cât și hardware. În zilele noastre, aceste standarde sunt descrise în așa numitele RFC-uri în care se explică foarte amănunţit funcționarea lor. Multe dintre aceste RFC-uri își au originea la începutul anilor `80, chiar dacă au mai fost modificate între timp.

 Astfel, pe partea transmisiilor de date s-au dezvoltat două protocoale care stau la baza majorității transmisiilor de date din internet. Aceste protocoale sunt TCP (Transmission Control Protocol) și UDP (User Datagram Protocol). Prin protocol înțelegem un set de reguli care trebuie respectat de fiecare membru abonat al rețelei. Mai exact, acest protocol este un limbaj la nivel electronic. La proiectarea acestor protocoale s-a ţinut cont de o multitudine de aspecte dintre care, la vremea respectivă, multe erau încă în faza de dezvoltare. Unul dintre aceste aspecte este și *Calitatea serviciilor* sau *QoS.*

 La baza acestor protocoale stă modelul OSI (*Open System Interconnection*) care definește informaţia de la nivelul semnalelor în care este descompusă și până la nivelul în care este prezentată, sub diferite forme, utilizatorului. Modelul OSI este compus din 7 niveluri, la fiecare nivel informaţia trecând de la un stadiu inferior la unul superior, sau invers, în funcție de sensul care trebuie respectat (recompunerea informației de la nivelul semnalelor către utilizator, sau invers).

 Pentru a fi identificat în timpul comunicaţiei, fiecare utilizator din rețelele care folosesc aceste două standarde are nevoie de o “adresă IP”. Aceste adrese sunt compuse din 4 seturi de cifre. În momentul în care cele două standarde au fost proiectate, se considera că aceste adrese vor fi suficiente (având în vedere numărul mare, deşi finit, de combinații obţinut din cele 4 grupări). Cu toate acestea, în timp, numărul s-a dovedit limitat, ceea ce a făcut ca anumite plaje de adrese să devină private.

 Prin QoS (Quality of Service) definim practic un set de reguli, care realizează optimizarea traficului de date în interiorul unei rețele (sau din interiorul unui sistem autonom), astfel încât resursele acesteia să poată fi folosite la potențial maxim.

##  Tehnologia SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

 Tehnologia SDH a fost implementată prima dată pe radiorelee, link-uri pe satelit, sau interfețe electrice. Curând, datorită faptului că toate aceste tehnologii aveau anumite limitări, s-a migrat pe fibră optică. Din acest moment, utilizarea tehnologiei s-a extins la nivel mondial. Concepută pentru două-trei decenii de utilizare, tehnologia SDH stă la baza multor legături de mare capacitate prezente în internet. Într-o primă fază, pe această tehnologie s-au mapat doar serviciile de voce, urmând ca apoi să migreze toate celelalte servicii (transport de date, internet, televiziune digitală etc.).

 Tehnologia PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) este predecesoara tehnologiei SDH, fiind folosită în trecut în telecomunicaţii. Însă, pe măsură ce lucrurile au evoluat, această variantă şi-a atins limitele tehnologice de operabilitate. Nu detaliem aici acest caz, dar menţionăm că această tehnologie avea anumite limitări încă din faza de proiectare, dintre care amintim:

* Tehnologia nu avea capacitate suficientă pentru a oferi un management al rețelei care să permită urmărirea tuturor proceselor care au loc în rețeaua PDH;
* Multe dintre modalitățile de management erau proprietare și nu puteau fi utilizate decât sub licență sau deloc;
* Nu exista o standardizare a ratelor mai mari de 140 Mbps.

###  Avantajele tehnologiei SDH

Dintre avantajele tehnologiei SDH, amintim:

* Reduce numărul de echipamente și creşte stabilitatea rețelei. Funcţionează pe distanțe lungi de ordinul sutelor de kilometri, transportând astfel cantități semnificative de informație;
* Se poate adapta și este compatibilă cu foarte multe standarde de transmisie, ceea ce face posibilă interconectarea operatorilor aflaţi la distanţe foarte mari şi care utilizează tehnologii diferite;
* Este o arhitectură flexibilă, deoarece permite îmbunătățirea “din mers” a rețelei sau a anumitor segmente din aceasta. Se va putea adapta noilor cerințe la diferite rate de transfer, corespunzătoare fiecărei situaţii în parte;

Este o tehnologie sincronă. Acest lucru înseamnă că totul este organizat după un tact utilizat ca referință în organizarea tuturor proceselor. Astfel, vom şti exact când trebuie să ajungă un pachet sau un mesaj de sincronizare. Acest lucru are un mare avantaj în organizarea tuturor problemelor de compatibilitate între diversele tehnologii cu care se interconectează. Datorită faptului că este o tehnologie sincronă, multiplexarea, respectiv demultiplexarea, se fac într-o singură fază ceea ce reduce complexitatea echipamentelor hardware care necesită a fi utilizate și implicit costul de producție a întregului sistem. De multe ori, datele nu se potrivesc exact cu structura ce trebuie încapsulată sau multiplexată. Astfel, pentru ca tot ciclul să decurgă fără întreruperi, se adaugă “biţi de umplutură” pentru a completa structura ce urmează a fi procesată. În figura prezentată în teză este ilustrat un exemplu privind cele două modalități de transport a datelor.

###  Echipamentele utilizate în tehnologia SDH

 În această secțiune, nu sunt descrise și topologiile de rețea care sunt asemănătoare cu cele utilizate la celelalte tehnologii, ci vor fi făcute referiri strict la echipamentele utilizate pentru a face managementul și extracţia datelor din reţeaua SDH.

*Terminal Multiplexer (TE)*

 Multiplexorul terminal este un element care finalizează un circuit SDH și poate concentra sau agrega semnale DS1, DS3, E1, E3 sau STM-N (Synchronous Transport Mode). O implementare cu două TE (Terminal Equipment) reprezintă un *link* SDH, cu o secțiune de regenerare, de multiplexare, totul într-o singură legătură de date. Reprezentarea schematică a unui multiplexor terminal este ilustrată în figura prezentată în teză. Multe dintre semnalele PDH (ex. DS1, E1,E3) sunt mapate în conţinutul *fram*e-urilor SDH. De exemplu, semnalele DS1 sunt mapate în containerul virtual 11(VC11), semnalele E1 sunt mapate în containerul virtual 12, iar semnalele E3 sunt mapate în containerul 3. O conversie din semnale electrice în semnale optice este aplicată după procesul de multiplexare, iar semnalele STM-N sunt trimise pe fibra optică. Un proces în oglindă de demultiplexare a semnalelor și trimitere a acestora către interfețe are loc și la recepție. În practică, acest multiplexor se foloseşte doar la capătul de circuit, unde este necesară decapsularea fluxurilor STM și împărţirea pe serviciile care au fost configurate pentru a fi oferite. Acesta este folosit pentru a extrage din reţeaua SDH informațiile care se vor livra apoi la viteze foarte mici, în funcție de particularitățile și serviciile care trebuie furnizate. Un exemplu schematic al multiplexorului esteprezentat în figura prezentată în teză.

#  NOŢIUNI DESPRE TRANSMISIUNILE ÎN FORMAT DIGITAL

Standardele TCP/IP au fost proiectate în anii ’80, când exista o anumită tehnologie hardware specifică acelor vremuri. În diverse zone ale lumii, existau mai multe soluții proprietare și mai multe tipuri de echipamente, care nu puteau fi interconectate nici la nivel de conectori și nici la nivel de semnale. Ca orice lucru care se dezvoltă, acest standard a trecut în primul rând printr-o fază incipientă, evoluția fiind făcută pe mai multe niveluri (hardware, software, dezvoltarea de platforme, dezvoltarea de servicii etc.). Primele servicii care au apărut pe noua infrastructură, nu aveau cerințe foarte mari, deoarece și tehnologiile hardware erau într-un stadiu de dezvoltare incipient. La început, parametrii cei mai importanţi erau timpii de răspuns și pierderile de pachete. Pe măsură ce lucrurile au evoluat, au apărut noi medii de transmisie, s-au dezvoltat vitezele și frecvențele la care se putea opera, s-au mărit distanțele la care se putea transmite informația fără a fi alterată, s-au micșorat timpii de răspuns, au apărut noi modalități de încapsulare a informației și s-a modificat mărimea pachetelor care se pot transmite pe mediul fizic.

 Pe lângă exemplele de mai sus, au mai apărut coduri detectoare/corectoare de erori care au îmbunătățit semnificativ transmisiunile de date. Un pas foarte important l-a reprezintat apariția fibrei optice, utilizată la început la scară redusă, iar apoi, după ce costurile de producție au scăzut, la scară din ce în ce mai largă. Avantajele acesteia sunt binecunoscute şi, odată cu acest nou mediu de transmisie, au apărut și noi oportunități în multitudinea de metode de transmitere a informației.

Au apărut tehnologiile WDM și DWDM care au permis transportul unor cantități mai mari de informație pe distanțe mai lungi. Acest lucru a fost posibil și datorită faptului că, pe un segment de fibră lung de câteva sute de kilometri, se putea injecta un spectru luminos de putere foarte mare care să nu se disperseze în fibră. Singurul factor care putea afecta calitatea semnalului optic era atenuarea fibrei, conform datelor de catalog, în funcție de tipul acesteia și de lungimile de undă ale semnalelor care erau transmise prin acest mediu. În cazul comunicațiilor pe satelit, s-a renunțat la transmisia analogică, care depindea foarte mult de anumiți parametri. S-a trecut, în schimb, pe transmisiuni digitale, acestea prezentând marele avantaj că anumite coduri detectoare/corectoare de erori pot fi implementate pentru cazurile în care informația este afectată, până la un anumit prag. Un mare avantaj al trecerii de pe transmisiunea analogică la cea digitală o reprezintă cantitatea de informație care poate fi transportată într-o bandă de frecvenţă impusă.

 Un capitol important în evoluţia comunicațiilor îl reprezintă apariția tehnologiilor wireless, care ne oferă facilitatea în zilele noastre să conectăm echipamente dintre cele mai diverse în locuri din ce în ce mai îndepărtate. În decursul anilor, am asistat și la o evoluție a protocoalelor ce puteau facilita transmiterea informației la rate tot mai mari de transfer, în condiții asemănătoare de propagare a undelor radio. În prezent, aceste tehnologii au un grad destul de mare de miniaturizare, putând fi astfel integrate pe dispozitive din ce în ce mai complexe.

 La nivel software, un pas important în dezvoltarea comunicațiilor l-a avut apariția protocoalelor de rutare dinamice. Cu ajutorul acestora se putea redistribui traficul pe anumite legături, în momentul în care anumite *link*-uri principale aveau pierderi sau erau întrerupte, asigurându-se astfel o continuitate a comunicațiilor. Cu aceste protocoale se putea face un management al cantității de trafic care erau transferate prin *link*-urile principale din internet, evitându-se astfel încărcarea excesivă a anumitor legături, în anumite momente. Mai exact, se putea oferi o calitate mai ridicată a serviciilor.

## Noțiuni despre transmisia streamurilor video în format digital

În general, în cadrul transmisiilor de tip *Transport Stream*, care pot conține informații video, audio dar și alte categorii, datele sunt organizate sub formă de pachete. În momentul în care se reasamblează, aceste pachete formează un *frame* de imagine. Această operaţiune se repetă în funcție de rata la care funcţionează sistemul (numărul de *frame*-uri/secundă). De fapt, ideea de descompunere a informației în pachete de forma TCP/UDP nu este nouă. Ea a fost utilizată pe scară largă la *stream*-urile audio, dar și la telefonia digitală. Până la integrarea conexiunilor video în acest sistem, nu a mai fost decât un pas. În general, mărimea pachetelor este de 188 bytes (sau 204 bytes dacă datele conțin și un algoritm de corecţie a erorilor). În acest context, pentru a menține o rată fixă a *streamului*, în condițiile în care informația şi numărul pachetelor pot să difere de la un cadru la altul, pe lângă pachetele valide, se introduc unele fără nici un conţinut. Această procedură se numește *Bit Stuffing*. În procesul de reorganizare a pachetelor și redare a conţinutului inițial, aceste pachete sunt eliminate. În general, pachetele care compun un *stream* sunt de tip UDP şi au un *header* care conţine câteva informații minimale, acestea ajutând la identificarea pachetului în procesul de reconstruire a informației inițiale.

10:51:27.077874<1> IP (tos 0x0, ttl 1<2>, id 29992<3>, offset 0, flags [DF], proto UDP (17)<5>, length 1356<6>) 192.168.100.2.1042<7> > 239.252.0.0.1234<8>: UDP, length 1328

10:51:27.080869 IP (tos 0x0, ttl 1, id 29993, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 1356) 192.168.100.2.1042 > 239.252.0.0.1234: UDP, length 1328

Din acest exemplu se pot pune în evidență câteva elemente care caracterizează pachetele dintr-un *Transport* *Stream*:

* <1>*Ora la care se transmite pachetul*. Având în vedere că se transmit zeci de pachete pe secundă, ora este trecută și la nivel de subdiviziuni ale secundei. Teoretic, conform cu acest criteriu, pachetele s-ar putea ordona la reasamblarea *datagramelor* iniţiale;
* <2>*Parametrul TTL*. Reprezintă numărul de *hopuri* prin care poate trece un pachet de la sursă spre destinație. În cazul nostru, având în vedere că vorbim despre o transmisie *multicast*, pachetul trebuie să ajungă direct de la sursă la destinație. După cum se vede din exemplul de mai sus, parametrul TTL are valoarea 1. În general, în transmisiile *multicast*, avem nevoie de o conexiune layer2 între sursă și destinație;
* <3>*Parametrul id*. Fiecare pachet are un identificator pentru a putea stabili ordinea pachetelor care ajung la destinație, respectiv în momentul reasamblării informației inițiale. Sunt cazuri în care valorile *jitter*-ului sunt prea mari, situație în care pachetele ajung amestecate, acest parametru ajutând la reordonarea lor concordant cu modul în care au fost trimise de către sursă;
* <5>*Protocolul de transmisie*. În general, datorită faptului că în cazul *stream*-urilor video nu suntem interesați de corectitudinea datelor (deoarece retransmisia acestora ar dura prea mult timp), ci de viteză, se foloseşte protocolul UDP;
* <6>*Lungimea pachetului exprimată în biți*. În momentul când se transmite un pachet de date se completează acest câmp cu valoarea mărimii pachetului. Această informație este foarte utilă la recepție când se calculează din nou mărimea pachetului sosit. Dacă cele două valori diferă, este de la sine înțeles că pachetul care tocmai a ajuns este corupt. Sunt și alte metode de verificare a corectitudinii informațiilor din pachetele de date însă toate acestea necesită calcule suplimentare care în cazul unui sistem care funcționează în timp real înseamnă consum suplimentar de resurse.
* <7>*Adresa IP sursă*. În general, orice pachet IP are o adresă sursă și o adresă destinație. În cazul nostru, adresa sursă este o adresă *unicast* dintr-o clasă privată;
* <8>*Adresa IP destinație*. După cum se poate vedea, aceasta este o adresă de tip *multicast*, din spațiul de adresare 224.0.0.0 - 239.255.255.255

Aceste pachete călătoresc de la sursă spre destinație, unde informația este recompusă. Recompunerea informației digitale are un mare avantaj, acela că, în cadrul acestei operațiuni, se poate apela la codurile detectoare și corectoare de erori. În cazul în care informația este distorsionată între sursă și destinație, iar gradul de distorsionare nu depăşeşte un prag critic, aceasta va fi recompusă în totalitate. Acest avantaj este înregistrat în raport cu legăturile analogice, unde calitatea unui semnal scade direct proporţional cu distanța. Un astfel de exemplu este prezentat în Figura 32.



**Figura 32. Comparație între link-urile analogice şi cele digitale**

În momentul în care inginerii au observat avantajele transmisiunilor digitale în comparație cu cele analogice, pornind de la cele prezentate mai sus aceştia au început să dezvolte tot mai mult acest segment al comunicaţiilor video suprapus pe infrastructura IP deja existentă. Astfel, au început să apară noi protocoale de transmisie și comprimare a datelor care au ajutat la îmbunătățirea calității și a ratelor de transfer în cazul *streaming*-urilor video. În cele ce urmează, vor fi prezentate unele protocoale și codecuri care au facilitat acest lucru.

# Contribuții la îmbunătățirea parametrilor TCP/IP

##  Scenariu de evaluare a transmiterii pachetelor multicast

Având în vedere că în ultima vreme televiziunea IP a luat un avânt foarte mare și ținând cont de avantajele care au fost expuse mai sus, se poate aprecia că acesta este un subiect care va fi amplu dezbătut de comunitatea științifica în perioada următoare.

 După cum s-a mai explicat, transmisia *multicast* funcționează practic pe *broadcast*-ul unei rețele de date. Aceasta poate fi locală, metropolitană, sau de întinderi și mai mari.

În general, în interiorul rețelelor de date, din motive de securitate, dar și pentru un management mai bun al resurselor se folosesc, *vlan*-uri pentru partajarea informației din interiorul acesteia. De cele mai multe ori, un flux *multicast* circulă doar printr-un singur *vlan*, dar sunt şi cazuri în care acest mecanism nu este implementat, și atunci pachetele *multicast* ajung la fiecare dispozitiv conectat în acelaşi domeniu de *broadcast*.

 În cazul în care explicația de mai sus este adevărată, înseamnă că pachetele *multicast* pot călători liber într-un domeniu de *broadcast* și vor ajunge în interiorul rețelei până la primul ruter. Se fac aici referiri la pachete care nu pot fi rutate decât în condiții speciale sau mai mult nu au capacitatea de a călători pe rețeaua internet.

 În general, rețelele *multicast* sunt rețele închise, proiectate special pentru anumite funcții. La un moment dat a apărut necesitatea de a extrage pachetele *multicast* dintr-o rețea închisă pentru a fi transportate în alt punct din internet, cu scopul unei noi distribuţii a serviciilor. O soluție de test care se propune în acest caz conține următoarele etape:

* Crearea unui tunel între două puncte din internet;
* Introducerea unor pachete *multicast* de test prin acest tunel;
* Verificarea dacă aceste pachete ajung la destinaţie în aceleaşi condiţii în care au fost trimise.

Dacă această soluţie se va dovedi funcţională, va fi extinsă pentru experimente ulterioare, de o complexitate crescută.

 Tunelele sunt create tocmai pentru a transporta o informație la nivel Layer 3 (ne referim aici la nivelurile din modelul OSI) între două puncte din internet. Având în vedere că pachetele *multicast* sunt practic pachete IP, această soluție ar trebui să funcționeze, cu condiţia ca tunelul creat să asigure o transmitere continuă a informației. În cazul nostru, avem nevoie de un mecanism care să asigure integritatea și corectitudinea datelor transmise la o viteză cât mai bună. Din acest motiv, în general, în transmisiunile *multicast* se folosesc pachete de tip UDP. În experimentele propuse de autorul tezei vor fi parcurși paşii descrişi mai jos:

* Vom crea un tunel între două rutere aflate în puncte diferite din internet;
* Vom genera pachete *multicast* cu un generator de pachete pe care apoi le vom injecta prin unul din porturile ruterului sursă;
* La celălalt ruter, pe care îl considerăm destinație, vom insera un analizor de trafic, pentru a urmări dacă ajung pachetele *multicast* de la sursă și dacă acestea și-au păstrat parametrii inițiali;
* Vom calcula timpii de răspuns prin tunel;
* Vom calcula valorile *jitter*-ului prin tunel;
* Vom determina valorile de încărcare a procesoarelor pe cele două rutere.

În cazul în care acest experiment are rezultate satisfăcătoare, vom analiza rezultatele. Dacă analiza este mulţumitoare, vom relua experimentele cu trafic multicast real.

În experimentul propus s-au folosit două rutere de tip Linksys WRT54GL. S-a ales acest model de ruter deoarece oferă o stabilitate crescută în timp și are resurse tehnice minimale, pentru a transporta un *stream* IP în format SD la o calitate acceptabilă.

Figura 38 conţine ilustrează un asemenea model de ruter.



**Figura 38. Router Linksys WRT54GL**

Pentru a realiza acest experiment, a trebuit să utilizăm alt *firmware* faţă de cel original, deoarece acesta nu oferea funcțiile de VPN și de management de care era nevoie în derularea experimentului propus. În experiment, s-a folosit *firmware*-ul DD-WRT cu versiunea de VPN. Acest *firmware* are implementat softul OpenVPN, care ne ajută să creăm diferite tipuri de tunele acestea prezentând diferite configurații. Mai mult, poate fi utlizat fără costuri, având la bază sistemul de operare Linux care este Open Source. Pagina de start a acestui *firmware* este prezentată în figura următoare:



**Figura 39. Interfaţa de configurare a softului DD-WRT**

 În cazul nostru, pentru acest experiment s-a dezactivat funcția de criptare pentru a nu încărca inutil procesorul ruterului. De altfel, chiar și în cazuri reale nu este necesară activarea criptării pentru tunelele care conțin *stream*-uri *multicast*, existând și alte mecanisme de implementare a politicilor de securitate. De asemenea, s-a dezactivat funcția de *wireless*, cu scopul de a consuma cât mai puține resurse. Trebuie să ținem cont că în cazuri reale, în cazul ruterelor folosite pentru uzul casnic, puterea de procesare este destul de redusă (procesoarele de pe aceste rutere au frecvențe cuprinse între 150 și 300 MHz) aşa că utilizarea resurselor trebuie făcută cu maximă precauție, mai ales în cazul ruterelor de generație mai veche. În cazul nostru, ruterul sursă (de unde va pleca semnalul *multicast*) este considerat ca fiind server de VPN. La acesta se vor conecta unul sau mai mulţi clienți care vor beneficia în egală măsură de aceleaşi servicii.

Pentru a implementa configurația necesară, a fost nevoie să fie făcute unele modificări în modul prin care se inițializează ruterul. După ce procesul de inițializare se finalizează, acesta va funcționa în acest mod până la următorul restart.

În cazul experimentelor efectuate, s-au utilizat două calculatoare, unul cu rol de generator de pachete, iar cel de al doilea cu rol de analizor.

 În cazul generatorului de pachete, s-a utilizat ca sistem de operare Linux Mandriva, iar ca generator de pachete, s-a utilizat *Scapy*, un utilitar conceput în scopuri experimentale de către *Philippe Biondi*. Acesta are nenumărate funcții de generare pachete, de analiză a acestora, de trimitere de pachete în anumite formate/dimensiuni, dar și multe alte funcționalități. Datorită complexității lui, nu este utilizat doar în scopuri experimentale, ci și pentru a injecta pachete în rețea, cu diverse scopuri, ca și pentru atacuri dintre cele mai surprinzătoare.

 Scopul propus a fost generarea unor pachete *multicast* având un IP sursă, IP destinație, port sursă și port destinație, pentru a afla dacă aceste pachete călătoresc de la generator până la analizor prin sistemul de tunele creat peste rețeaua *unicast* existentă. La calculatorul sursă respectiv generatorul de pachete, s-a lansat programul *Scapy* cu următorii parametri:

Welcome to Scapy (2.0.0.10 beta)

>>> ip = IP(src='172.25.44.33', dst='224.33.33.4')

>>> SYN=TCP(sport=1024,dport=60,flags="S",seq=12345)

>>> data="Multicast Packet"

>>> send (ip/SYN/dată,iface='eth0',inter=3,loop=1)

........................................................^C

Send 56 packets

În urma acestei operaţiuni, din punct de vedere teoretic, ar trebui ca generatorul să trimită pe interfața **eth0** un număr nelimitat de pachete la un interval de 3 secunde. În cazul nostru, acest şir de pachete s-a întrerupt, pentru a nu se genera la infinit. În momentul în care a fost dată această întrerupere, s-a constatat că au fost trimise 56 de pachete *multicast* cu parametrii specificați mai sus. Pentru a verifica această operațiune, a fost lansat un alt utilitar *tcpdump,* acesta efectuând analiza pachetelor care trec prin interfaţa de rețea. Acest utilitar a inclus și un filtru pentru a capta doar pachetele care prezintă interes pentru experimentul propus.

 Sintaxa folosită este cea din exemplul de mai jos:

[root@localhost ~]# **tcpdump -vvv -ni eth0 | grep 224.33.33.4**

tcpdump: listening on eth0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 96 bytes

172.25.44.33.1024 > 224.33.33.4.60: Flags [S], cksum 0x6fdb (correct), seq 12345:12361, wÎn 8192, length 16

172.25.44.33.1024 > 224.33.33.4.60: Flags [S], cksum 0x6fdb (correct), seq 12345:12361, wÎn 8192, length 16

172.25.44.33.1024 > 224.33.33.4.60: Flags [S], cksum 0x6fdb (correct), seq 12345:12361, wÎn 8192, length 16

172.25.44.33.1024 > 224.33.33.4.60: Flags [S], cksum 0x6fdb (correct), seq 12345:12361, wÎn 8192, length 16

 Având în vedere că elementele de identificare ale pachetelor coincid, rezultă că se poate afirma fără echivoc că generatorul utilizat a funcționat corespunzător și că pachetele au plecat din interfaţa de rețea.

În cazul calculatorului care a realizat analiza, s-a folosit ca sistem de operare Microsoft Windows, iar ca program de analiză, utilitarul *Wireshark*. Acesta ne permite o analiză vizuală a pachetelor, oferindu-ne o multitudine de informații în timp real. Pentru acest experiment a fost important ca pachetele trimise de generator să îşi atingă destinaţia. Din acest motiv, s-a montat şi la destinație un filtru.

ip.src=172.25.44.33 care reprezintă faptul că din toate pachetele care ajung pe interfața unde se face analiza, se afișeză doar pachetele care au sursa evidențiată mai sus pentru a fi mai ușor de urmărit.

În Figura 41 este redat un *print-screen* cu analiza efectuată de acest program.



**Figura 41. Analiza pachetelor multicast la recepție**

După cum se poate vedea și din această figură, pachetele care au fost trimise de la generator au ajuns la analizor în cele mai bune condiții. Chiar dacă acestea sunt pachete trimise spre adrese *multicast*, ele au călătorit printr-o rețea *unicast*, printr-un sistem de *bridge*-uri și tunele puse la punct pe interfețele ruterelor. Putem spune, în aceste condiții că analizorul și generatorul se află în acelaşi domeniu de *broadcast*, chiar dacă ele fizic se află în puncte diferite apaținând rețelei de internet. Prin acest experiment, s-a demonstrat că se pot transmite pachete *multicast*, chiar dacă punctele de emisie/recepţie nu sunt în acelaşi domeniu de *broadcast*. Explicația acestui fenomen este simplă. În momentul în care pachetul *multicast* a intrat în tunel, el a fost “reîmpachetat” prin adăugarea unor câmpuri suplimentare specifice tunelului prin care avea de circulat. La destinaţie, acele câmpuri au fost retrase, păstrându-se astfel conținutul original.

Următorul pas de parcurs va fi ca prin această arhitectură creată să transmitem pachete *multicast* aparţinând unui *stream* real. În condițiile în care această transmisie nu va fi afectată de *jitter*, ar trebui să fie obținută o recepţie de calitate în punctul terminal.

 Din experimentul prezentat în cele de mai sus, a rezultat că este posibil să facem o transmisiune *multicast* printr-o rețea *unicast*. Practic, a fost creat un domeniu de tip *broadcast* între două puncte diferite din rețeaua internet. În aceste condiţii, infrastructura propusă pentru experimentul de mai sus ar putea fi utilizată și pentru alte aplicații care necesită un domeniu de *broadcast* comun pentru diverse puncte din rețeaua internet. Având în vedere că au fost obţinute rezultate satisfăcătoare utilizând acest sistem de test, experimentele au fost extinse și la o platformă mai complexă care implică un întreg sistem de calcul, având mai multe resurse şi facilităţi.

# Contribuții şi direcții de cercetare viitoare

 În zilele noastre, echipe întregi de cercetare studiază cum se pot îmbunătăți diverse aspecte tinând de domeniul comunicațiilor. Lucrurile au ajuns la standarde atât de ridicate încât, pentru a obţine îmbunătăţiri semnificative, este nevoie de echipe puternice incluzând persoane specializate pe o anumită direcție pentru a studia în detaliu o anumită problemă. De multe ori, în spatele unor standarde sau a unor protocoale, stă un întreg aparat matematic care constituie suportul pentru ca soluţiile să poată fi implementate într-un mod corespunzător.

 Problema calității serviciilor a fost un subiect care a interesat cercetători și ingineri deopotrivă, încă de la începutul dezvoltării segmentului de comunicații. Chiar și în acel moment, când lucrurile se tratau într-un mod mai simplist, au existat provocări la fel ca și cele de azi.

 Într-un scurt rezumat, contribuțiile din această lucrare pot fi evidențiate prin următoarele puncte teoretice și respectiv practice:

* Realizarea unei sinteze privind contextul actual şi noţiunile utilizate în această lucrare;
* S-au realizat o analiză și o sinteză privind protocoalele utilizate în prezent pentru aspecte dintr-o gamă foarte diversificată de funcții şi aplicații;
* S-au analizat algoritmii utilizați în asigurarea unui grad de performanță cât mai ridicat în rețelele LAN (la nivel micro), dar și în legăturile de *backbone* din internet, unde capacitățile de transport sunt mult mai mari, iar problemele care apar se tratează la un alt nivel;
* S-a realizat o analiză comparativă a protocoalelor de rutare dinamice, care stau la baza funcționării comunicațiilor la nivel global;
* S-au prezentat sintetic tehnologiile cu care operăm în prezent, insistând pe tehologia SDH, deoarece aceasta stă la baza funcționării legăturilor *backbone* din rețeaua internet;
* Pe partea de wireless, s-a analizat standardul 802.11ac cu schemele de codare și ratele teoretice suportate în condiții ideale. La ora actuală, 802.11ac este cel mai evoluat standard, care permite rate superioare de transfer către mai multe dispozitive conectate în mod simultan;
* În cadrul evoluției comunicațiilor, un pas foarte important a constat în trecerea de la modul de transmitere analogic la cel digital, cu toate îmbunătățirile pe care le aduce acest nou mod de transmitere a datelor. În cadrul analizei făcute pe parcursul lucrării au fost evidențiate avantajele acestui nou mod de transmitere a datelor și problemele care pot apărea in cadrul acestui proces. Au fost propuse și implementate noi soluții care au ajutat la optimizarea modului de transmitere a datelor în format digital dintre un punct denumit generic sursă și destinație
* S-a explicat cum anume şi în ce condiţii a fost făcută aceasta trecere în format digital şi cum au evoluat în timp codecurile sau metodele de compresie în timp real. S-a realizat o trecere în revistă a metodelor de îmbunătățire a transmisiunilor multimedia, dar și problemele care afectează aceste transmisiuni;
* A fost prezentată și o metodă de transmitere a unei informații *multicast* printr-o rețea *unicast* cu toate avantajele care rezultă din acest nou mod de transmitere. Într-o primă fază, s-au realizat doar teste la nivel mic, cu pachete simulate, pentru ca apoi să fie implementat un sistem de calcul cu trafic *multicast* real care era generat de către un *coder* pe baza unui conținut real (material multimedia) și care putea fi demodulat și vizualizat de către un *player* specializat.
* S-au adus diverse îmbunătățiri acestui sistem și s-a făcut o transmisiune securizată cu un procent de probabilitate a pierderilor de pachete mai bun decât alte încercări făcute în acest scop;
* În final, s-a testat legea lui Amdahl care provine din procesarea paralelă, dar pe care autorul a încercat să o adapteze și în cazul transmisiunilor de date. S-a observat că există o accelerare pe măsură ce numărul de sesiuni paralele crește.

Studiile făcute pot fi continuate și îmbunătățite cu orice fel de trafic (nu doar cu trafic *multicast*, ca în prezenta teză). Sunt nenumărate cazuri în care se impune necesitatea dezvoltarea și implementarea unor soluții în care să existe un procent cât mai mic de pierderi de pachete, în condițiile în care legăturile de date încep să devină instabile.

 Având la bază rezultatele obținute, în urma studiilor efectuate prin această teză, în următoarele studii de cercetare și dezvoltare pot fi urmărite fenomene legate de:

* Extinderea analizei parametrilor de performanță pentru conexiunile IPTV și VoIP;
* Evoluția conexiunilor wireless în condițiile în care numărul de dispozitive mobile crește și, o dată cu acestea, şi necesitatea lățimii de bandă consumată de aplicațiile care sunt utilizate în prezent;
* Analiza modelelor de evaluare a performanțelor la nivel global.

# Bibliografie

[1]. Tatiana Rădulescu, Henri-George Coandă - QoS în Rețelele IP Multimedia

[2]. Lefteris Mamatas, Tobias Harks, and Vassilis Tsaoussidis - Approaches to Congestion Control in Packet Networks

[3]. Shudong Jin, Liang Guo, Ibrahim Matta, Azer Bestavros - A Spectrum of TCP-Friendly Window-Based Congestion Control Algorithm

[4]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Network_congestion#Congestion_control>

[5]. Baswaraj, D. C. Tomar - Modeling of Packet Switched Network over TCP/Ipto Suggest Modified Routing to Reduce Congestion

[6]. J. Tao – RED: Algorithm, Modeling and Parameters Configuration

[7]. M. Marchese - QoS over heterogeneous networks, John Wiley, 2007

[8]. W. Zheng, Internet QoS - Architectures and Mechanisms for Quality of Service,

Lucent Technologies, 2001.

[9]. Burlacu Cojocaru Oprescu 443A - Algoritmi de dirijare versiunea 2

[10]. Allan Johnson - Routing Protocols and Concepts CCNA Exploration Labs and Study Guide Instructor Edition

[11]. Mattias Jansson, KTHNOC – Routing Information Protocol, 2004

[12]. Internetwork Technologies Handbook Chapter 39

[13]. W. Zheng - Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service,

Lucent Technologies, 2001

[14]. Teză de doctorat Doru Bălan, Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava,2013, Contribuţii la îmbunătăţirea calităţii serviciilor în rețelele de date

[15]. http://www.eeherald.com/section/design-guide/ieee802\_3.html

[16]. Felician Alecu, Catedra de Informatică Economică - Sisteme de așteptare pentru calculul paralel și distribuit

[17]. <http://lcfp.3x.ro/cursuri/3/5.php> [Cap 4 - ***Variabile aleatoare*** și funcţii de repartiţie](http://www.google.ro/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0CGkQFjAJ&url=http://lcfp.3x.ro/cursuri/3/5.php&ei=l9VHVKL0C8qAywOKgYHoBg&usg=AFQjCNHuecasfovlgw_am3qaBW_zSh2r8A&bvm=bv.77880786,d.bGQ)

[18]. P. Karn - The Qualcomm CDMA Digital Cellular System. În Proc. 1993 USENIX Symp. on Mobile and Location-Independent Computing, pages 35–40, August 1993.

[19]. S. Nanda, R. Ejzak, and B. T. Doshi - A Retransmission Scheme for Circuit-Mode Data on Wire-less Links. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 12(8), October 1994, pp 1338 - 1352

[20]. A. Bakre and B. R. Badrinath - I-TCP: Indirect TCP for Mobile Hosts. În Proc. 15th Internaţional Conf.on Distributed Computing Systems (ICDCS), May 1995, p 136.

[21]. H. Balakrishnan, S. Seshan, and R.H. Katz - Improving Reliable Transport and Handoff Perfor

mance în Cellular Wireless Networks. ACM Wireless Networks, 1(4), December 1995

[22]. K. Fall and S. Floyd - Comparisons of Tahoe, Reno, and Sack TCP. ftp://ftp.ee.lbl.gov/papers/

sacks.ps.Z, December 1995.

[23]. Hâri Balakrishnan, Venka

[24]Akester, R. - Reducing Multicast Collision Loss for Digital TV Over 802.11 Wireless Networks

[25]Amdahl, G. - Validity of the single-processor approach to achieving large scale computing capabilities. În AFIPS Conference Proceedings vol. 30 (Atlantic City, N.J., Apr. 18-20). AFIPS Press, Reston, Va., (1967), pp. 483-485*.*

[26]http://technishop.co.uk/dell-poweredge-2950-mk-3-2u-4714-p.asp.

[27]http://www.linksys.com/us/p/P-WRT54GL/.

[28]http://www.tradeegypt.com/img.asp?catalogID=18027&w=1.

[29]https://meddstudent.files.wordpress.com/2013/08/curs-08-probabilitati.pdf.

[30] Radu-Cezar Tărăbuță , Alin Potorac, Doru Balan, Adrian Graur - *Applicability of Amdahl’s Law în Multisession TCP/IP Communication.* (ECUMICT 2014, Vol 302, pp 143-152)

[31]Radu-Cezar Tărăbuţa, A. P. (2013) - Improving multimedia Transmission streaming using multiple tunneling method Hammamet, Tunisia. (ICNCA’2015)

[32]Tărăbuţa Radu-Cezar, P. A. (2013) - Full redundant transmission of multicast stream via unicast network Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), 2013 4th International Symposium on Galaţi.

[33]Zhi Li, X. Z. *IPTV multicast with peer-assisted lossy error control* N. Padmanabhan, Srinivasan Seshan and Randy H. Katz - A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links

[34]. B. R. Badrinath, A. Bakre, T. Imielinski, and R. Marantz, Handling mobile clients - A case for indirect interaction. In Proceedings of the Fourth Workshop on Workstation Operating Systems, pages 91–97, 1993

[35]. A. Bakre and B. R. Badrinath - I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts. În Proceedings of the 15th International Conference on Distributed Computing Systems, pages 136–143, 1995

[36]. K. Brown and S. Singh. M-TCP - TCP for mobile cellular networks. Computer Communication Review, 27(5):19–43, 1997

[37]. T. R. Henderson and R. H. Katz. - Transport protocols for Internet-compatible satellite networks. IEEE Journal on Selected Areas în Communications, 17(2): 326–344, 1999

[38]. M. Kojo, K. Raatikainen, and T. Alanko - Connecting mobile workstations to the internet over a digital cellular telephone network. În Proceedings of the Workshop on Mobile and Wireless Information Systems (Mobidata), 1994

[39]. M. Luglio, M. Y. Sanadidi, M. Gerla, and J. Stepanek - Onboard satellite “Split TCP” proxy. IEEE Journal on Selected Areas în Communications, 22(2):362–370, 2004.

[40]. R. Yavatkar and N. Bhagawat - Improving end-to-end performance of TCP over mobile internetworks. În Proceedings of the Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pages 146–152, 1994.

[41]. Philip Rizk, Cameron Kiddle and Rob Simmonds, Department of Computer Science University of Calgary Calgary, Alberta, Canada - Improving GridFTP Performance with Split TCP Connections

[42]. D. Wischik, C. Raiciu, A. Greenhalgh, and M. Handley - Design,implementation and evaluation of congestion control for multipath tcp. În NSDI’11, Berkeley, CA, UŞA, 2011. USENIX Association.

[43]. SDH Basics - <http://www.docstoc.com/docs/11628301/SDH-Basics>

[44]. <http://www.prnewswire.com/news-releases/digital-living-network-alliance-certifies-more-than-1000-television-models-in-first-quarter-of-2011-125804758.html>

[45]. Multicast vs. Unicast transmissions for wireless ip camera surveillance systems-Acta Tehnica Volume 48,November3,2007-Sorin Cocoradă University Transilvania of Braşov

[46]. http://www.ti.com/solution/video\_communications\_system

[47]. Understanding MPEG4:Tehnologies, Advantages and Markets – An MPEGIF White Paper

[48]. ZEN ZEN vision series – Video Encoding guidelines Online Courses <http://nptel.iitm.ac.în/courses/Webcoursecontents/IIT%20Kharagpur/Multimedia%20Processing/pdf/ssg_m7l20.pdf>

[49]. <http://chadwickpaul.net/2011/04/15/compressing-to-the-perfect-web-resolution/>

[50]. Optical Network Design and Implementation A comprehensive guide to understanding and configuring multiservice DWAM,SONET and SDH architectures, Cisco Press

[51]. IEEE 802.11ac, http://www.ieee802.org/11/Reports/tgac/update.htm.

[52].Verma, L.; Fakharzadeh, M.; Sunghyun Choi - "Wifi on steroids: 802.11AC and 802.11AD," Wireless Communications, IEEE, vol.20, no.6, pp.30,35, December 2013.

[53]. 802.11ac În Deph White Paper

http://www.arubanetworks.com/pdf/technology/whitepapers/WP\_80211acInDepth.pdf

[54]. [International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing](http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/index?journalid=133)

Doru Gabriel Balan, Alin Dan Potorac, Radu Cezar Tărăbuță - Hands-on Analysis of 802.11ac Modulation and Coding Scheme

 [55]. https://meddstudent.files.wordpress.com/2013/08/curs-08-probabilitati.pdf

[56]. Tărăbuţa Radu-Cezar, Potoroac Alin, and Balan Doru - Full redundant transmission of
multicast stream via unicast network, Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), 2013 4th Internaţional Symposium in Galaţi

[57]. Radu-Cezar Tărăbuţa, Alin Potorac, Balan Doru, and Ovidiu Strugaru - Improving multimedia Transmission streaming using multiple tunneling method Hammamet, Tunisia. (ICNCA’2015)

[58]. Richard Akester - Reducing Multicast Collision Loss for Digital TV Over 802.11 Wireless Networks

[59]. Amdahl, G.M. - Validity of the single-processor approach to achieving large scale computing capabilities. În *AFIPS Conference Proceedings* vol. 30 (Atlantic City, N.J., Apr. 18-20). AFIPS Press, Reston, Va., (1967), pp. 483-485.

[60]. OpenVPN Software documentation

[61]. Zhi Li, Xiaoqing Zhu, Ali C. Begen, Bernd Girod - IPTV multicast with peer-assisted lossy error control

[62].http://slideplayer.com/slide/1273079/ page 4

[63]. http://blog.router-switch.com/2015/10/why-we-need-multigigabit-networks-today/

[64]http://ik.su.lt/~grazvis/ka/stendai/network%20associates%20guide%20to%20communications%20protocols.png