

Opera suspicionată (OS)  
Suspicious workOpera autentică (OA)  
Authentic work

OS	MUNTEANU Radu, BOULEANU, Iulian. <i>Rețele radio cu mobilitate ridicată</i> . Cluj-Napoca: Mediamira. 2013.
OA	BOULEANU, I. Cercetări privind optimizarea procesului de alocare a resurselor în rețele radio speciale. Teză de doctorat. Universitatea tehnică, Cluj-Napoca.2010.

## Incidența minimă a suspiciunii / Minimum incidence of suspicion

p.016:01-p.187:14	p.017:01-p.136:13
p.29:Figura 1.2	p.26:Figura 1.2
p.30:Figura 1.3	p.27:Figura 1.3
p.38:Figura 1.4	p.33:Figura 1.4
p.38:Tabelul 1.3	p.32:Tabelul 1.3
p.59:Figura 2.9	p.47:Figura 2.9
p.82:Tabelul 3.1	p.63:Tabelul 3.1
p.114:Tabelul 3.3	p.116:Tabelul 4.7
p.187:150-p.211:07	p.138:01-p.151:00

Fișa întocmită pentru includerea suspiciunii în Indexul Operelor Plagiate în România de la  
Sheet drawn up for including the suspicion in the Index of Plagiarized Works in Romania at  
[www.plagiate.ro](http://www.plagiate.ro)

**Notă:** p.285:00 semnifică „pagina 285 până la capăt”.  
**Note:** p.285:00 means „page 285 to the end”.



---

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA  
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ

---

ing. BOULEANU Iulian

# **TEZA DE DOCTORAT**

**CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA PROCESULUI DE  
ALOCARE A RESURSELOR ÎN REȚELE RADIO SPECIALE**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:**

**Prof.dr.ing. Radu MUNTEANU**

---

**2010**

---

MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ

*Ing. Iulian Bouleanu*

## **TEZĂ DE DOCTORAT**

**CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA PROCESULUI  
DE ALOCARE A RESURSELOR ÎN REȚELE RADIO  
SPECIALE**

**Conducător științific,  
Prof. dr. ing. Radu Ioan MUNTEANU**

**Comisia de evaluare a tezei de doctorat:**

- PREȘEDINTE:** Prof. dr. ing. *Radu CIUPA*, decan,  
Facultatea de Inginerie Electrică,  
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;
- MEMBRI:** Prof. dr. ing. *Radu Ioan MUNTEANU* – conducător științific,  
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;  
Prof. dr. ing. *Mihai Octavian POPESCU* – referent,  
Universitatea „Politehnica” din București;  
Prof. dr. ing. *Ioan TÂRNOVAN* – referent,  
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;  
Conf. dr. ing. *Paul BECHET* – referent,  
Academia Forțelor Terestre „Nicolae Bălcescu” din Sibiu.

## Capitolul 1    **CARACTERIZAREA REȚELELOR RADIO SPECIALE**

Rețelele radio speciale sunt rețele de tip ad-hoc cu servicii integrate, ale căror principale caracteristici sunt versatilitatea și mobilitatea. Numărul de utilizatori este în general redus: zeci, maxim una sau două sute de utilizatori, cu posibilitatea de a fi grupați în clase distincte și cu facilități diferite, dependente de rolul funcțional din cadrul organizației deservite. Aceasta reprezintă o caracteristică aparte față de clasa generală a rețelelor ad-hoc (cu sau fără mobilitate) destinată publicului larg care, conform lucrărilor de specialitate, pot avea până la câteva mii de membri. În RRS, datorită confidențialității informațiilor transferate, se pune un accent deosebit pe securitatea rețelei [23]. Având în vedere că datele sunt transmise prin mediul wireless, trebuie luate în considerare toate aspectele implicate de aceasta [37]. Conectivitatea rețelei este afectată de mobilitatea terminalelor, caracteristicile climatice și relieful zonei în care este desfășurată. Drept urmare, legăturile dintre membrii rețelei pot suferi întreruperi sau modificări ale capacității de transfer. Pentru evitarea bruiajului sau a interceptării datelor tranzitate prin rețea, se pot utiliza tehnici de împrăștiere a spectrului și de codificare a transmisiilor. Datorită caracterului acțiunilor desfășurate de organizațiile deservite, zonele de acțiune și ariile de desfășurare sunt extrem de diverse, acoperind întreaga gamă de medii geografice și climatice: urban, rural, izolat, împădurit, muntos, litoral, deșert etc.

Rețelele speciale de comunicații trebuie să fie ușor și rapid desfășurabile, miniaturizarea echipamentelor, robustețea și randamentul energetic reprezentând obiective principale pentru proiectanții de sistem.

În acest capitol sunt prezentate caracteristicile definitorii ale acestui tip de rețele, provocările tehnologice care condiționează proiectarea și realizarea acestora, precum și o serie de soluții testate de comunitatea științifică internațională și clasificate funcție de nivelul din cadrul modelului OSI la care au fost implementate. În final sunt descrise pe scurt ultimele direcții ale cercetării în domeniu, menite să răspundă provocărilor actuale. Pe parcurs se vor face referiri cu privire la gradul de abordare a acestor teme în lucrarea de față.

### **1.1 Caracteristici definitorii ale rețelelor speciale de tip ad-hoc**

#### **1.1.1 Infrastructură descentralizată**

Descentralizarea infrastructurii reprezintă o caracteristică de bază într-o rețea radio specială. Această cerință impune ca în RRS să nu existe o stație centrală precum în rețelele cablate sau în rețelele de tip IEEE 802.11b/g, de existența căreia ar putea depinde întreaga rețea. O arhitectură cu infrastructură descentralizată este foarte utilă pentru realizarea dinamică de setări temporare ale parametrilor rețelei, dar face foarte dificil procesul de monitorizare și management. În cazul rețelelor de tip IEEE 802.11, cea mai populară soluție de administrare o reprezintă infrastructura server-client, unde unul dintre dispozitive acționează ca stație centrală și obține informațiile de management pentru toate stațiile pe care le administrează. Această tehnică nu este fezabilă în rețelele speciale de tip ad-hoc întrucât nu trebuie să existe un dispozitiv central care să poată acționa ca stație de management. În plus, fiecare element al rețelei (fiecare nod) acționează ca un router de sine stătător. O altă provocare privitoare la descentralizarea infrastructurii în aceste rețele este aceea că nu poate fi utilizată o bază de date centrală care să centralizeze informațiile despre dispozitivele din rețea, adresele lor etc., cum se întâmplă în

rețelele cablate. Aceasta face ca sarcina de monitorizare să întâmpine și mai multe provocări decât în cazul tehnicilor de monitorizare tradiționale, fiind nevoie de dezvoltarea unor metode noi de monitorizare și management [10].

### 1.1.2 Topologia dinamică

RRS au o natură foarte dinamică, fiind proiectate să asigure mobilitate în condiții de mediu dificile sau ostile. Nodurile pot fi arbitrar plasate în aria de dispunere a rețelei astfel încât topologia grafului, care reprezintă legăturile radio dintre noduri, este în principiu nestructurată. Conectarea la rețea, ieșirea din rețea, întreruperea legăturilor și deplasarea nodurilor în afara sau în interiorul ariei de acoperire a nodurilor vecine reprezintă o serie de factori care fac ca topologia rețelei să fie dinamică și în continuă schimbare. Topologia rețelei poate să se modifice în timp din cauza mobilității sau defectării nodurilor. Schimbările rutelor în rețea pot fi determinate și de întreruperea legăturilor, defectarea sau neutralizarea nodurilor.

Topologia RRS reprezintă un domeniu important și pentru soluțiile de management. Datorită schimbării continue a poziției nodurilor sunt foarte dificil de implementat soluțiile de management care să permită conservarea legăturilor. Pentru actualizarea și realizarea unui tablou exact al topologiei rețelei sunt necesare transferuri continue de informații de management între nodurile acesteia. Acesta transferuri cresc cantitatea totală de date care se vehiculează prin rețea cu un trafic suplimentar care supraîncărcă rețeaua. La nivelul anului 2008, soluțiile tehnologice de top din acest domeniu realizau supraîncărcări datorate traficului suplimentar de până la 99% din capacitatea totală realizată de rețea [5]. Aceste condiții fac ca optimizarea performanțelor rețelei să fie o sarcină foarte dificilă.

### 1.1.3 Mobilitatea nodurilor

Mobilitatea reprezintă o provocare atât pentru proiectantul, cât și pentru managerul rețelei. Sistemul de management trebuie să localizeze continuu poziția fiecărui nod mobil. Nodurile mobile își pot schimba în mod constant poziția în afara sau în interiorul ariei de acoperire a celorlalte noduri, realizând și desfăcând o serie de legături [24]. În funcție de viteza de deplasare a nodurilor, trebuie luate în considerare diferite tehnologii capabile să opereze în prezența efectului Doppler, să permită coerența comunicațiilor, trecerea de la un cluster la altul (handover), sau orientarea în timp real a antenelor directive. Lucrarea de față acordă un mare interes propagării radio în condiții de mobilitate ridicată, drept pentru care capitolele 2 și 3 abordează principalele probleme ale propagării radio, identificând soluții pentru simulare și proiectare, iar în capitolul 5 sunt realizate simulări ale unei structuri tipice de rețea radio specială, în condiții specifice de mobilitate.

### 1.1.4 Rata de transfer

Rata de transfer este un termen utilizat pe scară largă în domeniul industriei de telecomunicații ca unitate de măsură exprimată, de regulă, în biți pe secundă, sau ca viteza cu care informația este transmisă de la un dispozitiv la altul. La nivelul utilizatorului, limitarea ratei de transfer este sesizabilă atunci când timpul de așteptare pentru descărcarea unor informații devine deranjant sau când utilizatorul constată că nu poate realiza comunicații vocale în timp real.

Rata de transfer este o problemă esențială în orice sistem de comunicații. Din acest punct de vedere, rețelele speciale de tip ad-hoc experimentează constrângeri suplimentare în comparație cu rețelele clasice. Fiind desfășurate în medii ostile sau dificile, factorii climatici sau cei care depind de configurația terenului afectează semnificativ rata de transfer. Mobilitatea nodurilor și resursele energetice limitate sunt alți factori care contribuie la reducerea acesteia.

Pentru adaptarea la condițiile ostile de propagare trebuie utilizate forme de undă rezistente și frecvențe mai scăzute de lucru, aspect care se reflectă în reducerea lățimii de bandă și implicit a ratei de transfer. Pe de altă parte, pentru a dispune de capacități mari de trafic pentru fiecare legătură, este necesar să se utilizeze forme de undă care să opereze cu lățimi de bandă și frecvențe de lucru ridicate. Aspectele privitoare la selectarea metodelor și tehnologiilor necesare pentru optimizarea ratei de transfer în funcție de parametrii canalului radio sunt abordate în capitolul 3 al acestei lucrări. În plus, nu trebuie uitat faptul că spectrul undelor de radiofrecvență este o resursă limitată, gestionată la nivel național în acord cu o serie de acorduri internaționale.

### 1.1.5 Conectivitatea

Conectivitatea este o proprietate fundamentală a unei rețele ad-hoc. Din punct de vedere practic, conectivitatea este o condiție strict necesară pentru a oferi servicii stabile utilizatorilor rețelei. Pentru a obține o rețea ad-hoc complet conectată trebuie să existe o cale de la fiecare nod către oricare alt nod. Calea dintre sursă și destinație poate fi constituită dintr-un singur salt (atunci când sursa și destinația sunt vecine) sau din mai multe salturi. Atunci când nu există nicio cale între o pereche de noduri sursă-destinație, spunem despre rețea că este deconectată. O rețea deconectată poate fi formată din câteva insule sau grupuri deconectate. Cea mai mare grupare din rețea poartă denumirea de componentă gigant [79].

Conectivitatea în rețelele ad-hoc a reprezentat subiect de studiu pentru diverse lucrări și a fost abordată cu ajutorul teoriei grafurilor prin două modalități: conectivitatea vârfurilor sau conectivitatea muchiilor. Într-o rețea, conectivitatea vârfurilor este legată de numărul minim de noduri care trebuie eliminate (prin defectare sau indisponibilizare) pentru a o separa, iar conectivitatea muchiilor se referă la numărul minim de legături radio care nu se realizează. Abordări mai recente precum modelul de propagare radio logaritm normal și modelul grafului geometric aleatoriu, studiază conectivitatea utilizând elemente de teorie a probabilităților.

Studiile privind conectivitatea demonstrează că variațiile de putere ale semnalului radio, datorate variației parametrilor canalului radio, cresc probabilitatea de a avea legături lungi, care, la rândul lor, sporesc probabilitatea de conectivitate a întregii rețele [58].

Este important de subliniat că fiecare conexiune din rețea depinde de condițiile de interferență care sunt direct legate de încărcarea traficului și de comunicațiile simultane dintre alte noduri ale rețelei. Datorită interferenței, comunicarea dintre două noduri conectate poate scădea la viteze mici sau, în anumite momente, poate fi imposibil de realizat [22]. Interferența dintre nodurile rețelei și intermodulațiile produse la nivel local sunt abordate în capitolul 4.

### 1.1.6 Capacitatea

În teoria informației, capacitatea este un concept matematic general. Aceasta reprezintă limita dincolo de care viteza datelor este fizic imposibilă. Capacitatea unei legături realizate între un emițător și un receptor, pe un canal cu zgomot alb gaussian, este definită cu binecunoscuta formulă:

$$C=B \times \log_2(1+RSZ) \quad (1.1)$$

unde  $B$  este lățimea de bandă, iar  $RSZ$  este raportul semnal pe zgomot.

Relația (1.1), cunoscută ca limita Shannon, și implicațiile generate de aceasta sunt indispensabile în dezvoltarea vastei structuri actuale de comunicații [37]. Vitezele legăturilor de comunicații aproximează astăzi limita Shannon chiar și în cele mai provocatoare canale wireless cu variație în timp. Ea nu are însă un corespondent în domeniul rețelelor mobile. O rețea ad-hoc compusă din  $n$  noduri mobile realizează  $n(n-1)$  căi de comunicație unidirecționale, iar o relație Shannon a capacității rețelei trebuie să țină seama de toate aceste căi. Într-o rețea ad-hoc,  $n$  poate fi de ordinul 10, 100 sau 1000 și toate legăturile pot avea variații în timp. În fapt, datorită