



Facultatea de Electronică și Telecomunicații  
Departamentul de Electronică Aplicată

## TEZĂ DE DOCTORAT

-REZUMAT-

# Contributions to Target Detection in Wireless Sensor Networks

**Autor: ing. Ruxandra-Ioana RUSNAC**

**Conducător științific: prof.dr.ing. Aurel-Ștefan GONTEAN**

Teză susținută public în data de **28.09.2012.**

Președinte: prof.dr.ing. Marius OTEȘTEANU, *Universitatea "Politehnica" din Timișoara*

Membri: prof.dr.ing. Theodor TETRESCU, *Universitatea "Politehnica" București*

prof.dr.ing. Mircea DĂBĂCAN, *Universitatea Tehnică Cluj-Napoca*

prof.dr.ing. Alimpie IGNEA, *Universitatea "Politehnica" din Timișoara*

### Informații statistice referitoare la teza de doctorat

Nr.			Observații
1.	Nr. capitole	6	
2.	Nr. total de pagini Nr. de pagini în corpul tezei	164 155	
3.	Nr. de figuri	82	Majoritatea figurilor au fost concepute și/sau desenate de autoare
4.	Nr. de tabele	61	59 originale
5.	Nr. total de referințe bibliografice	60	
6.	Nr. de articole ale autorului	7	Toate ca prim autor, dintre care 6 publicate, 1 acceptat.

### Cuvinte cheie:

Rețele de senzori wireless, algoritmi de localizare, eroare de poziționare, timp de calcul, optimizare convexă, received signal strength indicator (RSSI), criteriul „c”

## Importanța tezei:

În prezent rețelele de senzori wireless își găsesc utilitatea în aplicații precum monitorizarea mediului ambient până la industria auto, dar și în dirijarea traficului. În acest context, cunoașterea poziției nodurilor rețelei este esențială. Teza de doctorat tratează problema localizării nodurilor unei rețele wireless din trei puncte de vedere: teoretic, simulare și experiment. De-a lungul celor șase capitole sunt studiați cei mai importanți algoritmi de localizare în rețele de senzori wireless prin intermediul unor clasificări originale. Acești algoritmi sunt apoi simulați, realizându-se în cele din urmă o verificare practică. În cadrul lucrării este propusă o topologie originală pentru rețelele de senzori wireless: topologia hibridă. Această topologie realizează minimizarea erorii de poziționare obținută prin intermediul algoritmilor studiați. Pe baza erorii de poziționare și a timpilor de calcul aferenți fiecărui algoritm se introduce un criteriu de mediere ce realizează un echilibru între eroarea de poziționare și timpii de calcul.

## Conținutul tezei și contribuții pe capitole:

**Capitolul 1**, cu rol introductiv, subliniază actualitatea și prezintă aspectele-cheie ale temei abordate.

În prima parte a capitolului este prezentată gama largă de aplicații în care sunt utilizate rețelele de senzori wireless. Apoi se face o scurtă descriere a topologiei rețelelor de senzori wireless pentru localizare. Se remarcă aici un concept tipic rețelor de senzori wireless: paradigma agentului mobil. Aceasta exprimă modul în care se schimbă rolurile nodurilor rețelei la apariția unui agent mobil.

Capitolul tratează apoi structura nodului unei rețele. Elementele definitorii ale unui nod sunt: sursa de alimentare, dispozitivul de comunicare, senzorii dar și memoria. Toate aceste elemente trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- Costuri de fabricație reduse
- Dimensiuni reduse
- Consum redus de energie.

Subcapitolul 1.4 tratează modelarea rețelelor de senzori wireless. Acest subcapitol conține clasificări originale ale modelelor de noduri precum și ale modelelor de rețea. Aceste clasificări au fost realizate pe baza unui studiu bibliografic extins.

Subcapitolul 1.5 face o scurtă prezentare a algoritmilor de localizare ce vor fi studiați pe parcursul tezei. Prezentarea se face pe baza unei clasificări originale; această clasificare a fost realizată ținând cont de complexitatea abordării matematice ce stă la baza acestor algoritmi. Astfel, se remarcă două categorii:

- **algoritmi clasici:** sunt acei algoritmi a căror complexitate matematică este redusă sau calculele aferente utilizează metodele de optimizare consacrate (de exemplu metoda celor mai mici pătrate, în varianta neliniară)
- **algoritmi moderni:** sunt acei algoritmi care utilizează metode moderne de optimizare, precum optimizarea convexă.

Principalele contribuții la acest capitol sunt legate de studiul bibliografic amănunțit al principalelor aspecte ce vizează rețelele de senzori wireless. Clasificările originale ale

modelelor nodurilor rețelei și ale topologiilor rețelelor wireless constituie o altă contribuție la acest capitol. Clasificarea originală a algoritmilor, în clasici și moderni, precum și ordonarea lor funcție de timpii de calcul aferenți se constituie într-o nouă contribuție. Pentru obținerea timpilor de calcul s-au realizat simulări originale în Matlab.

**Capitolul 2**, are rol introductiv în problema algoritmilor de localizare clasici

Capitolul 2 se constituie într-o sinteză a principalilor algoritmi clasici de localizare întâlniți în literatura de specialitate. Pe parcursul capitolului se prezintă partea matematică a următorilor algoritmi: maximum likelihood estimation (MLE), weighted centroid localization (WCL), iterative trilateration, Malguki spring și modified multidimensional scaling (MMDS). Pe baza algoritmului matematic și a timpilor de calcul aferenți se realizează o analiză comparativă originală. De asemenea se prezintă erorile de localizare obținute de către alți autori, totodată scopul obținerii unor erori de localizare mai mici decât cele obținute de către ceilalți autori.

Contribuțiile sunt de ordin teoretic cât și practic. Contribuțiile teoretice se constituie în studiul bibliografic amănunțit al algoritmilor de localizare, dar și în analiza tuturor aspectelor pe care acești algoritmi le implică. Analiza comparativă originală al acestor algoritmi din punct de vedere al complexității și a timpului de calcul reprezintă o contribuție, atât teoretică cât și aplicativă. Pentru obținerea timpilor de calcul au fost realizate simulări Matlab originale.

**Capitolul 3**, prezintă rezultatele simulărilor algoritmilor din Capitolul 2.

Simulările originale au fost realizate în Matlab, în următoarele condiții. S-a considerat un număr de 20 de senzori (noduri a căror poziție trebuie determinată), un număr variabile (3-15) ancore (puncte cu poziție fixă, cunoscută). Toate aceste elemente sunt plasate într-un spațiu de 10 x 10 metri considerat spațiu liber.

Pentru simulare se utilizează 3 topologii de ancore:

- **aleatoare**: constă într-o distribuție aleatoare a ancorelor în spațiul considerat
- **uniformă**: constă în distribuirea ancorelor sub formă de caroiaj
- **hibridă**: constă în plasarea câte unei ancore în fiecare colț al spațiului și distribuirea aleatoare a restului de ancore.

În Fig. 1a, 1b și 1c se pot vedea aceste topologii.

În urma aplicării algoritmilor din Capitolul 2 s-au obținut erori medii de poziționare. Aceste erori sunt prezentate pentru cele între 3 și 15 ancore, analizându-se influența numărului de ancore asupra erorii de poziționare. O sinteză a rezultatelor obținute este prezentată în Tabelul 1. Evoluția numărului de ancore asupra erorii de poziționare este reprezentată în Fig. 2-4. Evoluția este reprezentată funcție de cele trei topologii prezentate mai sus. Analizând figurile și tabelele menționate se observă o reducere a erorii de poziționare pe măsură ce numărul ancorelor crește. De asemenea se observă că topologia hibridă își indeplinește rolul de resucere a erorilor de poziționare pentru toți algoritmi simulați.

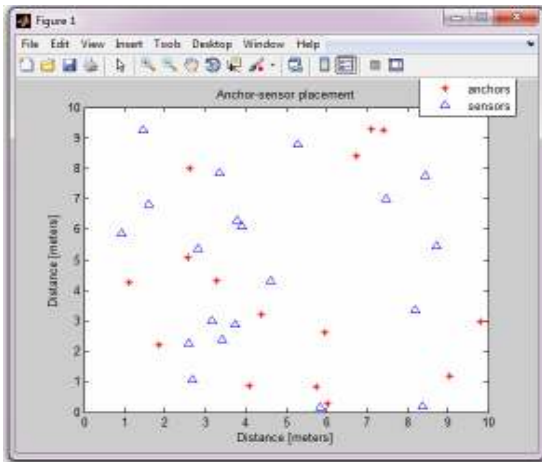


Fig. 1.a Random anchors

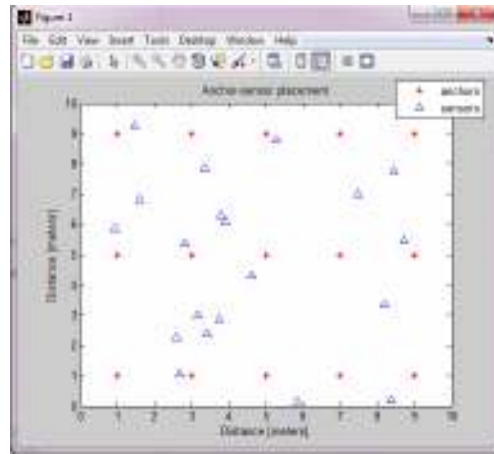


Fig. 1b. Uniform anchors

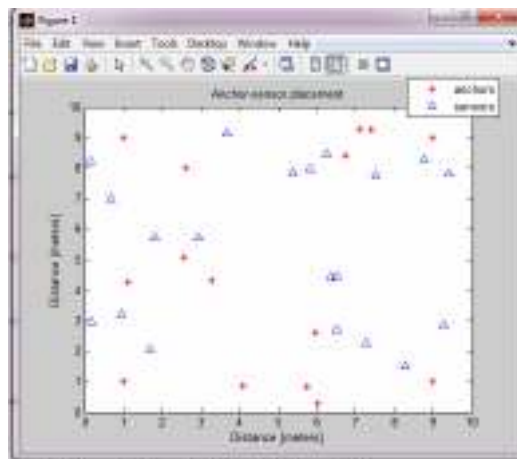


Fig. 1c. Hybrid anchors

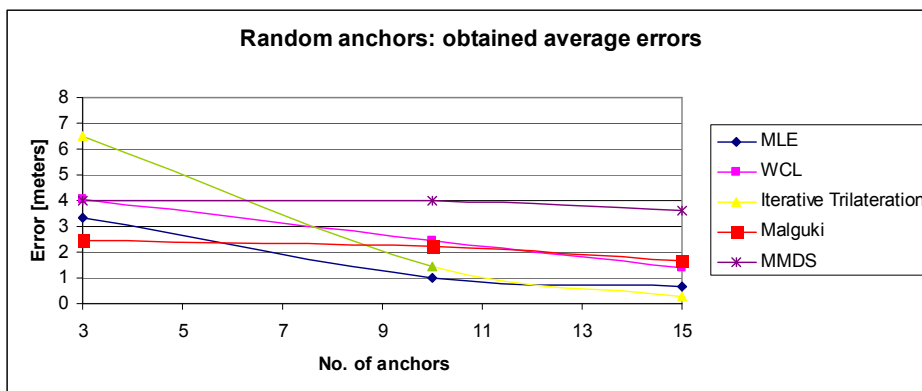


Fig. 2  
Eraoarea  
medie  
pentru  
topologia  
aleatoare

Tabelul 1: Erori medii de poziționare

Algorithm	No. anchors	Average error [meters]		
		Random anchors	Uniform anchors	Hybrid anchors
MLE	3	3.33	1.44	1.13
	10	1.02	0.83	0.80
	15	0.64	0.72	0.58
WCL	3	4.08	2.32	2.58
	10	2.47	1.04	1.38
	15	1.38	0.95	1.13
Iterative trilateration	3	6.49	0.81	1.10
	10	1.43	0.34	0.39
	15	0.26	0.25	0.27
MMDS	3	4.01	3.77	3.80
	10	3.98	3.48	3.74
	15	3.60	3.49	3.51
Malguki spring	3	2.47	2.16	1.80
	10	2.23	2.41	1.83
	15	1.69	2.45	1.68

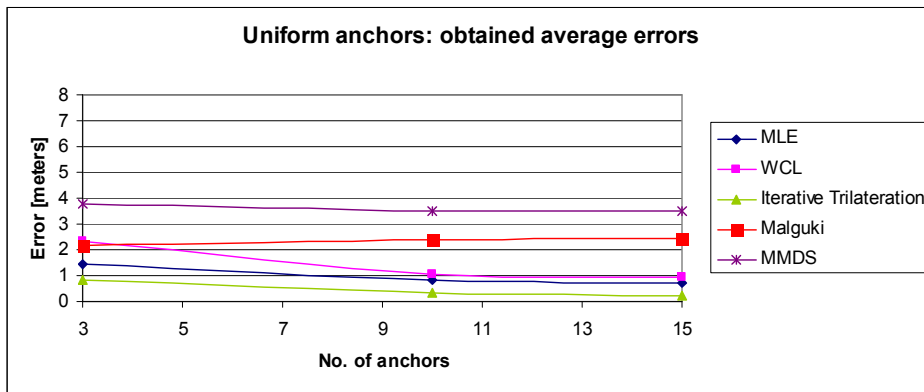


Fig.2. Eroarea medie pentru topologia aleatoare

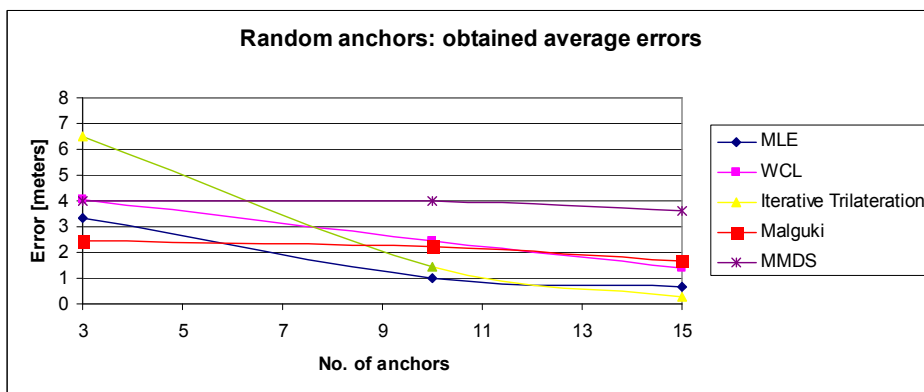


Fig.3. Eroarea medie pentru topologia uniformă

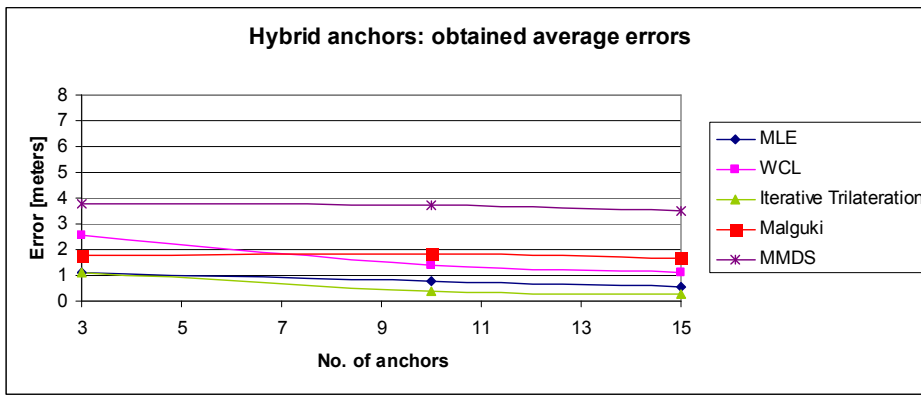


Fig.4. Eroarea medie pentru topologia hibridă

Contribuțiile la acest capitol sunt de ordin aplicativ și constau în simulările Matlab originale. Analiza critică a rezultatelor obținute, precum și faptul că erorile de poziționare obținute sunt mai mici decât ale altor autori.

**Capitolul 4**, prezintă algoritmi moderni de localizare precum și rezultatele simulării lor

Acest capitol prezintă două abordări moderne ale problemei localizării: semidefinite programming și second order cone programming. Pentru implementare Matlab a acestor algoritmi a fost necesară adaptarea problemei localizării.

În Fig. 5 se pot vedea rezultatele localizării folosind second order cone programming (SOCP).

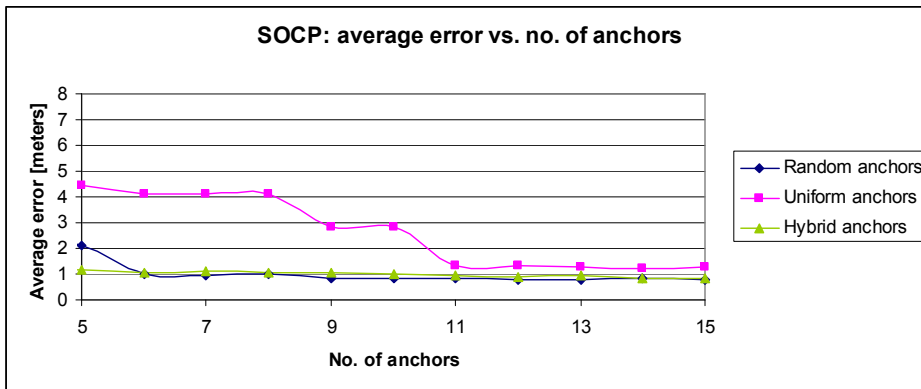


Fig.5. Eroarea medie pentru SOCP

Ca și înainte, se observă că eroarea de poziționare descrește pe măsură ce numărul de ancore utilizate crește, lucru valabil și pentru localizarea SDP, ale cărei rezultate se pot analiza în Fig. 6.

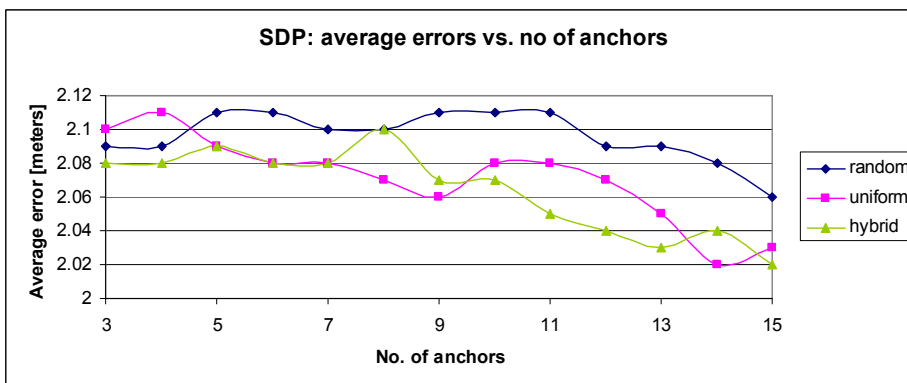


Fig.6. Eroarea medie pentru SDP

Principalele contribuții la acest capitol sunt de ordin teoretic dar și aplicativ. Astfel, la SOCP se remarcă ca și contribuție adaptarea problemei localizării pentru SOCP prin introducerea unei limite superioare  $\delta$  și extragerea variabilelor pentru implementare, precum și simulările Matlab originale. La SDP contribuțiile constau în obținerea soluției analitice a problemei localizării dar și simulările Matlab originale. Tot ca și contribuție se remarcă topologia hibridă, al cărei rol de reducere a erorii de poziționare se observă și în acest capitol.

### **Capitolul 5**, prezintă partea experimentală a lucrării

Acest capitol are scop verificare practică a algorimilor simulați în Capitolele 3 și 4. Pentru aceasta se parcurg 2 etape: verificarea formulei lui Friis prin realizarea unei rețele emițător- receptor, precum și aplicarea algoritmilor asupra unei rețele de cinci noduri (4 ancore, 1 senzor). Rețeaua din etapa a doua este plasată în spațiul liber, pe o suprafață de 10 x 10 metri. Pentru realizarea nodurilor s-au utilizat transceivere Xbee comandate de placa Arduino Duemilenove. Puterea recepționată se prezintă sub forma unui semnal PWM. Al căui factor de umplere se măsoară la recepție. Prin conversia factorului de umplere se obține RSSI și pe baza RSSI puterea recepționată.

Rezultatele primei etape sunt prezentate în cele ce urmează.

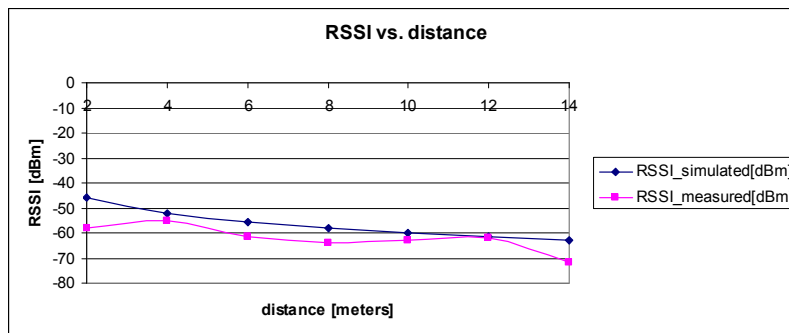


Fig 6. Localizare Arduino: RSSI, set I

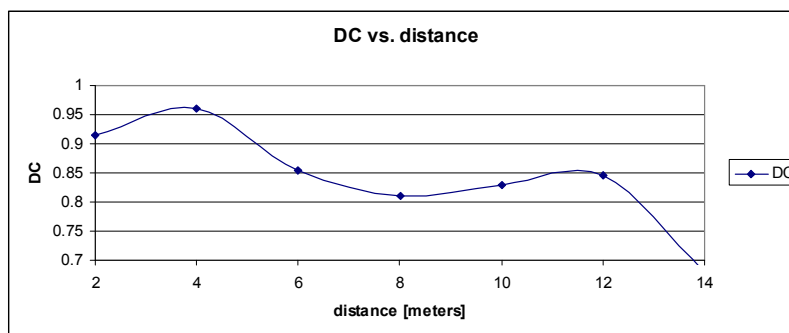


Fig 7. Localizare Arduino: factorul de umplere, set I

Se remarcă, pentru Fig. 6,7 și 8 că, evoluția curbei puterii recepționate, a RSSI și a factorului de umplere este asemanatoare.

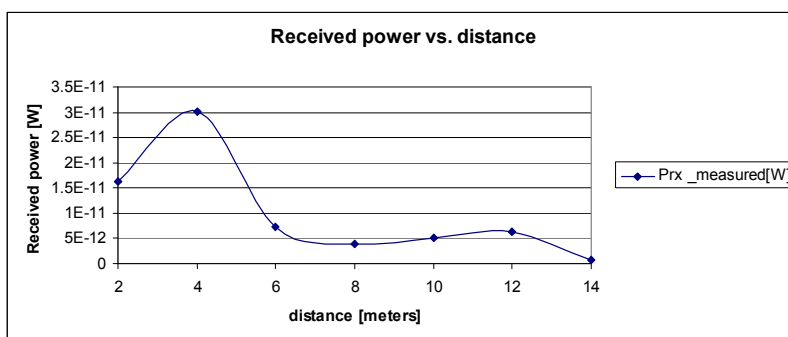


Fig 8. Localizare Arduino: puterea recepționată, set I

Rezultatele etapei a doua se concretizează prin aplicarea algoritmilor de localizare asupra a patru topologii diferite. Astfel ancorele se păstrează în aceeași poziție, iar senzorul este plasat în diferite puncte ale rețelei.

Pentru plasarea ancorelor în  $A_1(0,10)$ ,  $A_2(10,0)$ ,  $A_3(0,-10)$ ,  $A_4(-10,0)$  și a senzorului în poziția  $S(0,0)$  s-au obținut erorile de poziționare din Tabelul 3.

Tabelul 3. Erori de poziționare pentru partea experimentală

Algorithm	$d(S_{real}, S_{measured})$ [meters]
SOCP	0.01
MMDS	0.01
SDP	0.67
MLE	1.27
Malguki	2.01
WCL	3.90

Problema localizării a mai fost analizată și din punct de vedere al medierii pe 100 de eșantioane ale RSSI. Rezultatele obținute au fost similare celor prezentate. Pentru facilitarea aplicării algoritmilor s-a realizat o interfață grafică în Matlab. Aceasta permite selectarea algoritmilor doriți, simularea lor precum și prezentarea centralizată a erorii de poziționare, a poziției calculate a senzorului dar și a topologiei rețelei.

Contribuțiile la acest capitol sunt de ordin practic. Astfel se remarcă proiectarea și realizarea standului experimental dar și a metodei de măsură. Apoi s-a realizat codul Matlab necesar procesării datelor colectate. Analiza rezultatelor constituie o altă contribuție, completată de ordonarea algoritmilor funcție de timpul de calcul aferent și a erorii de poziționare. De asemenea s-a realizat criteriul „c” de mediere între timpul de calcul și eroarea de poziționare. Analiza algoritmilor pe baza medierii pe 100 de eșantioane a RSSI se constituie într-o altă contribuție.

**Capitolul 6** prezintă concluziile și contribuțiile aferente fiecărui capitol.