

UNELE CONTRIBUȚII PRIVIND MODELAREA TOPOLOGICĂ A REȚELOR DE SENZORI FĂRĂ FIR (RSff)

Petru Junie

junpetre2000@yahoo.com

Cristian Eremia

cristian_valentin2003@yahoo.com

Universitatea „Politehnica” București

Rezumat: Lucrarea prezintă câteva din rezultatele obținute prin cercetarea științifică doctorală proprie în domeniul modelării topologiei rețelelor de senzori. Aceste rezultate vizează afișarea grafică a locațiilor nodurilor-senzor și a legăturilor dintre noduri. Sunt introduse unele inovații pentru descrierea formală a topologiei în RSff în vederea simulării în Matlab a topologiei RSff.

Cuvinte cheie: rețele de senzori fără fir, modelarea topologică, simulare, Matlab, graf, mono-hop, multi-hop.

Abstract: This paper presents some of the results obtained by authors through their own doctoral scientific research in the topology of sensor networks modeling. These results display graphically locations of target-sensor nodes and the connections between nodes. Some innovations are introduced to describe the formal topology of sensor networks.

Keywords: Wireless sensor networks, topology modeling, simulation, matlab, mono-hop, multi-hop.

1. Introducere

Rețelele de senzori wireless au captat un număr mare de cercetători din momentul în care în 1999 revista BusinessWeek [1] a anunțat 21 din cele mai noi tehnologii importante pentru secolul 21. Printre acestea figura și tehnologia bazată pe RSff a cărei arhitectură este compusă din micro-senzori de unică folosință care pot fi implementați pe sol, în aer, sub apă, în interiorul clădirilor, pe vehicule, pe corpuri umane ori pe corpuri de origine animală (fig.1). Ele pot fi utilizate în anumite poziții pre-determinate sau la întâmplare (aruncate din helicopter), aceasta permițând desfășurarea senzorilor în zonele inaccesibile. De obicei, nodurile sensor au o arhitectură hardware care conține: **un senzor, o unitate de prelucrare, o unitate de emisie-recepție** și o unitate care asigură **sursa de alimentare** cu energie electrică. Există aplicații care au nevoie în plus de alte componente, cum ar fi: găsirea automată a locației (de exemplu, GPS).

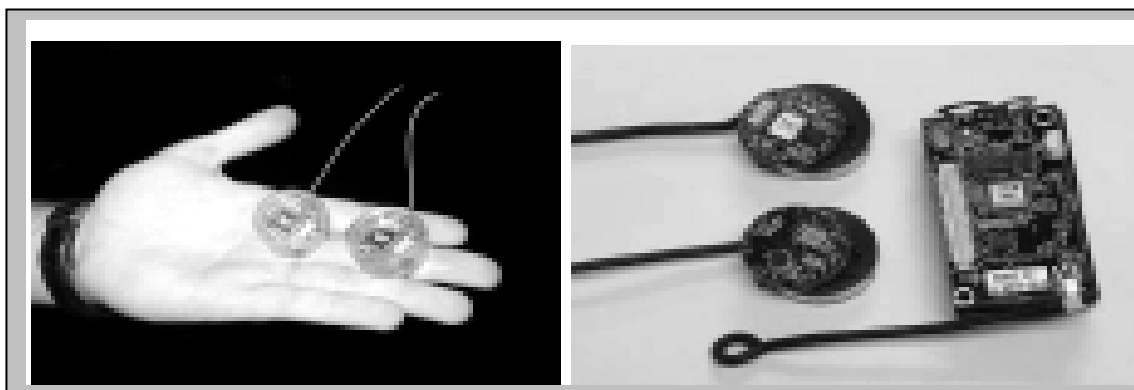


Figura 1. Exemple de senzori din nodurile RSff

Câteva exemple de rețele de senzori wireless ad-hoc sunt următoarele:

1. RS militar pentru a detecta și achiziționa cât mai multe informații posibile cu privire la mișcările inamicului, locația exploziilor, și alte fenomene de interes;
2. RS pentru a detecta și caracteriza procesele chimice, biologice, radiologice, nucleare, și (CBRNE) mediile explosive;

3. RS pentru a detecta și monitoriza schimbările de mediu în câmpii, păduri, oceane, etc.;
4. RS wireless de trafic pentru a monitoriza traficul vehiculelor pe drumurile aglomerate sau în anumite părți ale unui oraș;
5. RS wireless de supraveghere pentru asigurarea securității în mall-uri, garaje și alte facilități;
6. RS wireless de parcare pentru a determina locurile de parcare ocupate și pe cele gratuite.

Lista de mai sus sugerează că RSff oferă capacități și anumite îmbunătățiri în eficiența operațională în aplicații civile, precum și în sprijinirea efortului național de a crește vigilența la potențialele amenințări teroriste.

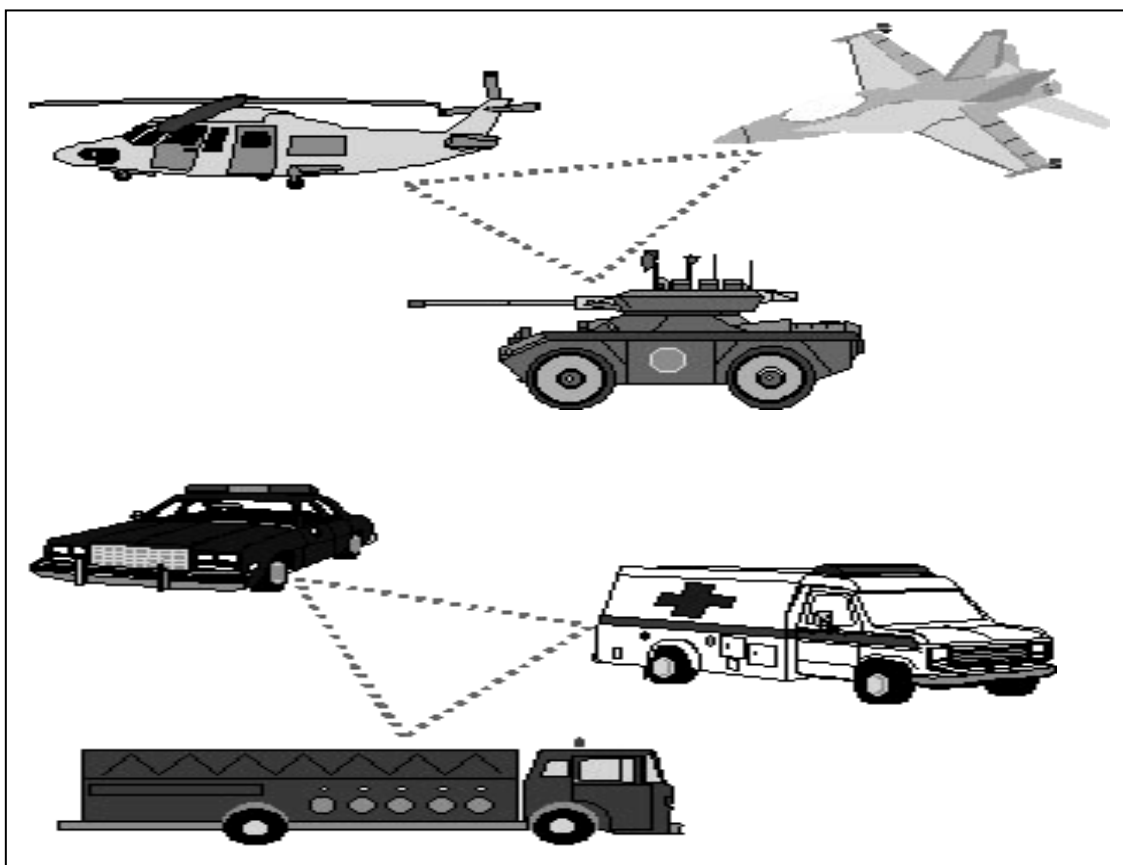


Figura 2. Două RSff elementare cu plasarea senzorilor pe 3 obiecte mobile

S-au impus două moduri de a clasifica RSff dacă conțin sau nu noduri adresabile individual și dacă datele din rețea sunt sau nu sunt agregate. De exemplu, nodurile-senzor într-o RS de parcare ar trebui să fie adresabile individual, astfel încât să se poată determina toate spațiile libere. Această aplicație arată ce poate fi necesar pentru a difuza un mesaj la toate nodurile din rețea. Dacă unul din senzori determină temperatura în colțul unei camere, atunci adresabilitatea nu poate fi atât de importantă. Orice nod în regiunea dată poate răspunde. Capacitatea de rețea de senzori pentru a agrega datele colectate poate reduce semnificativ numărul de mesaje care trebuie transmise în întreaga rețea. Obiectivele de bază ale unui senzor fără fir într-o rețea depind, în general, de cererile formulate la proiectare, dar următoarele sarcini sunt comune pentru cele mai multe rețele:

1. determinarea valorii unor parametri într-o anumită locație: într-o rețea de mediu, s-ar putea să cunoască o temperatură, presiunea atmosferică, cantitatea de lumină a soarelui și umiditatea relativă la un număr de locații. Acest exemplu arată că un nod senzor dat poate fi conectat la diferite tipuri de senzori, fiecare cu o rată de eșantionare diferită și o gamă de valori premise;

2. **detectarea apariției unor evenimente de interes și a parametrilor de estimare a**

evenimentului detectat sau evenimente: în rețea de senzori de trafic s-ar putea dori pentru a detecta un vehicul în mișcare printr-o intersecție și estima viteza și direcția vehiculului;

3. **clasificarea unui obiect detectat:** este un vehicul într-o rețea de senzori de trafic: o mașină, un camion, un autobuz, etc.;

4. **urmărirea unui obiect:** într-o rețea de senzori militară, urmărirea unui obiect inamic care se mișcă prin zona geografică acoperită de rețea.

În aceste patru sarcini o cerință importantă a rețelei de senzori este că datele cerute pot fi diseminate de către utilizatorii finali. În unele cazuri, există destule cerințe stricte de timp privind această comunicare. De exemplu, detectarea unui intrus într-o rețea de supraveghere ar trebui să fie comunicată imediat la poliție, astfel încât măsurile necesare pot fi luate.

Principalele cerințe impuse unei RS includ următoarele:

1. **Numărul mare de senzori** (cea mai mare parte staționare): în afară de implementarea de senzori pe suprafața oceanului sau utilizarea telefoanelor mobile, senzori fără pilot, robotizare în operațiuni militare, cele mai multe noduri într-o rețea de senzori inteligenți sunt staționare. Rețelele de 10.000 sau chiar 100000 noduri sunt prevăzute, astfel încât scalabilitatea este o problemă majoră.

2. **Consum scăzut de energie:** din moment ce în multe aplicații nodurile sensorului vor fi plasate într-o zonă de la distanță, serviciile de un nod nu pot fi disponibile. În acest caz, durata de viață a unui nod poate fi determinată de viața bateriei, care necesită astfel reducerea la minimum a cheltuielilor de energie.

3. **RS cu auto-organizare:** având în vedere numărul mare de noduri și plasarea lor în locuri potențial ostile, este esențial ca rețeaua să se poată auto-organiza: configurarea manuală nu este fezabilă. În plus, nodurile pot eșua (fie din lipsă de energie sau datorită distrugerii fizice), și nodurile noi ar putea adera la rețea. Prin urmare, rețeaua trebuie să aibă posibilitatea de a se reconfigura periodic în sine, astfel încât aceasta să poată continua să funcționeze. Nodurile individuale se pot conecta de la restul rețelei, dar un grad ridicat de conectivitate trebuie să fie menținută.

4. **Colaborare în prelucrarea semnalului:** cu toate acestea, un alt factor care diferențiază aceste rețele din MANETs este faptul că scopul final este de detectare / estimare a unor evenimente de interes și nu doar de comunicație. Pentru a îmbunătăți detectarea / performanța estimării este adesea destul de util ca datele de la senzori să aibă siguranță multiplă. Această fuziune a datelor necesită transmiterea de date și mesaje de control și așa se pot pune constrângeri privind arhitectura rețelei.

5. **Capacitatea de interogare:** un utilizator poate dori să interogheze un nod individual sau un grup de noduri privind informațiile colectate în regiune. În funcție de cantitatea de date efectuate în cazul fuziunii, nu poate fi posibilă transmiterea unei cantități mari de date prin rețea. În schimb, diverse noduri locale tip chiuvetă vor colecta date dintr-o anumită zonă și vor crea mesaje rezumat. O interogare poate fi direcționată către nodul chiuveta cel mai apropiat de locația dorită.

Această lucrare introduce în secțiunea 2 unele noțiuni privind reprezentarea algebrică a grafului rețelei, iar în secțiunea 3 se prezintă o metodologie originală de generare automată a grafului RS folosind resursele limbajului Matlab.

2. Modelarea topologiei RS

Formal, o rețea de senzori este reprezentată printr-un graf planar $G(V, E)$, unde V este mulțimea nodurilor grafului care reprezintă nodurile-senzor din RSff, iar mulțimea arcelor E reprezintă conexiuni radio între nodurile din rețea[4].

2.1 Reprezentarea topologiei RS printr-un graf planar

Vom considera o rețea statică de senzori fără fir (RSff) reprezentată printr-un graf neorientat $G(V,E)$. Fiecare nod $v \in V$ reprezintă un emițător radio al unui senzor, cu un unic cod (numeric) identificator (ID). În orice moment dat un senzor poate transmite sau recepționa informații pe un un singur canal fără fir. Lărgimea de bandă pentru fiecare canal fără fir este W și este împărțit în sloturi de timp de lungime Δ . Fiecare nod $v \in V$ are o zonă de transmisie circulară de rază unitară și un grup de noduri vecine lui v , notat cu $N(v)$. Acest set de noduri vecine se află în raza de transmisie. Astfel, există o legătură wireless bi-direcțională între fiecare nod v și fiecare nod $u \in N(v) - \{v\}$. Aceste legături sunt reprezentate prin arcele $(u,v) \in E$. Un exemplu pentru un astfel de graf este prezentat în figura 3. În cele ce urmează, vom folosi această rețea simplă pentru a ilustra proprietățile algoritmilor propuși pentru a determina, în modelul prezentat, calea cea mai scurtă între nodurile $u, v \in V$ în sensul de distanță minimă, notată cu $d(u,v)$ și care este calea cu numărul minim de hopuri.

2.2 Partiționarea grafului RSff în cluster

Orice subset de noduri, $C \subseteq V$ este numit **cluster (grup)**. Presupunem că în fiecare astfel de grup există un nod y numit **lider** $y \in C$. Nodurile clusterului și legăturile dintre ele definesc **graful grupului sau clusterului** notat $G_C(C, E_C)$ în care $E_C = \{(u,v) | u,v \in C \wedge (u,v) \in E\}$.

Un graf este **conex** dacă între oricare două noduri u și v ale **grafului** există cel puțin o cale (un drum) care face legătura între u și v . Un **cluster este conex** dacă graful asociat clusterului este conex. Vom nota cu $d_C(u,v)$, $u, v \in V$, **drumul cel mai scurt** dintre u și v în graful clusterului (grupului) și vom numi **raza clusterului** distanța maximă dintre liderul y și toate celelalte noduri din cluster $v \in C$, adică $\max_{v \in C} [d_C(y,v)]$. În plus fiecare nod are asociată o pondere pozitivă $w_v \ll W$ și care reprezintă o lățime de bandă de frecvențe de emisie-recepție rezervată nodului respectiv. Ponderea totală $W_{sum}(C)$ aferentă întregului cluster (grup), se determină prin însumare, cu relația :

$$W_{sum}(C) = \sum_{v \in C} w_v. \quad (1)$$

În general în grafurile conexe pot exista drumuri numite **cicluri** atunci când nodurile de început și de sfârșit ale drumului coincid. În clasa grafurilor conexe există categoria celor mai simple structuri de grafuri numite **arbori**. Un arbore este un graf conex care nu conține cicluri.

Fie T un arbore aferent unui graf-cluster $G_C(C, E_C)$ a cărui rădăcină este nodul-lider al clusterului $y \in C$. Nivelul i al arborelui este format din setul de noduri plasate pe distanța de i hopuri și de liderul y de-a lungul arborelui.

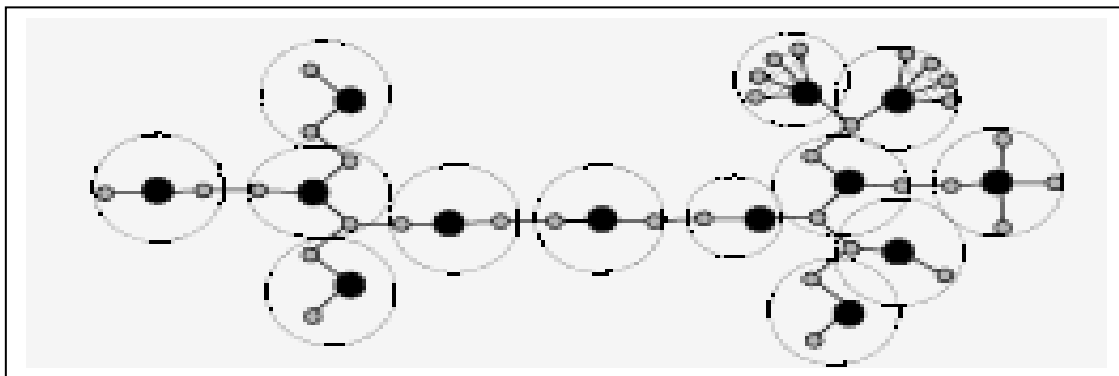


Figura 3. RSff partiționată în cluster mono-hop cu raza $R=1$ în care simbolul \bullet reprezintă liderul clusterului, iar simbolul \circ reprezintă noduri, iar cercurile mari reprezintă frontierele clusterelor în care a fost partiționată întreaga rețea.

Adâncimea lui T este indicele de la nivelul său cel mai îndepărtat. Un arbore T se numește **cea mai scurtă cale**, dacă aceasta este formată din cea mai scurtă cale de la rădăcina lui T, la orice alt nod $v \in C$. În acest caz, adâncimea lui T este, de asemenea, **raza clusterului respectiv**.

Pentru orice întreg pozitiv „k” numim **k-vecinătate** a unui nod v și o notăm cu $N_k(v)$ aceasta reprezentând un set de noduri cu distanță de cel mult k de la v în G , adică,

$$N_k(v) = \{u \mid u \in V \wedge d(u, v) \leq k\}. \quad (2)$$

În figura 3 este prezentată o partiționare a RSff în cluster-arbori mono-hop de rază $R=1$, iar în figura 4 este prezentată o partiționare a aceleiași RSff în numai două cluster multi-hop, de rază $R=5$.

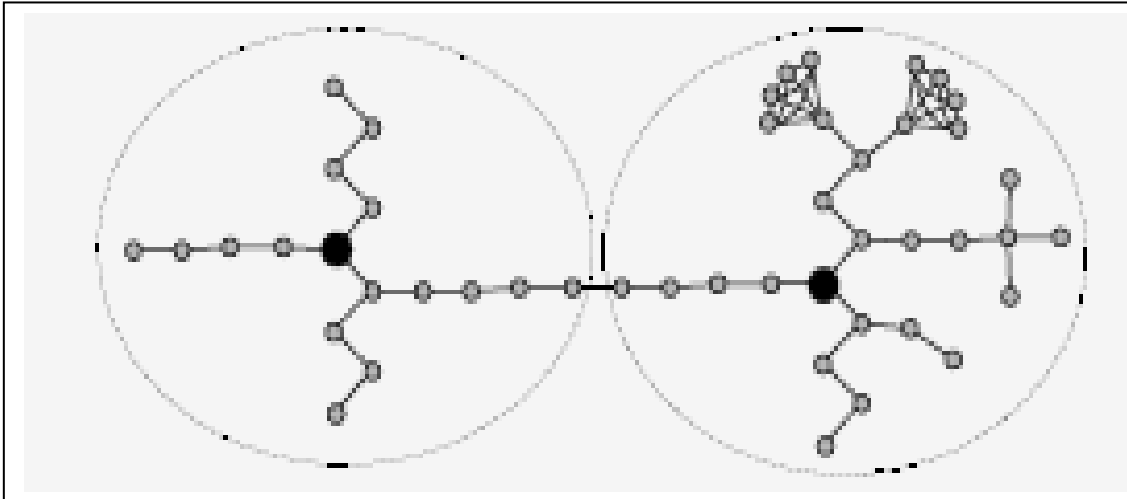


Figura 4. RSff partiționată în 2 cluster multi-hop cu rază $R=5$

Conform celor prezentate modelul topologiei celor două RSff din figura 2 este un graf cu 3 noduri-senzor, reprezentat în figura 5. Fiecare nod-senzor al RS este caracterizat prin coordonatele (x,y) de poziționare a nodurilor-senzor în planul care trece prin cele 3 puncte care reprezintă locațiile sensorilor.

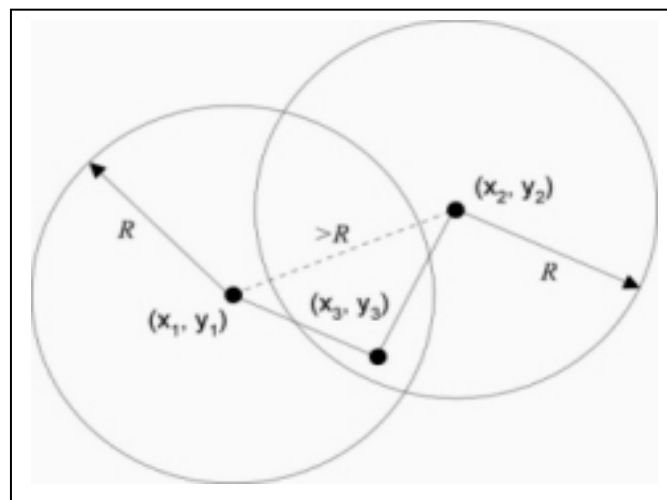


Figura 5. Modelarea RS din figura 2 printr-un graf planar

Cercurile de rază R din figura 3 exprimă frontierele zonelor acoperite de undele radio ale emițătoarelor și receptoarele senzorilor din rețea. În rețeaua din figura 3 se observă că nodul-senzor cu locația (x_1, y_1) nu poate comunica direct cu nodul din locația (x_2, y_2) deoarece lungimea arcului $a_{12} > R$.

3. Reprezentarea matriceală a topologiei RSff și trasarea automată a grafului RSff

O RSff este compusă dintr-un număr de senzori repartizați pe o zonă geografică. Fiecare senzor are o capacitate de comunicare fără fir și un anumit nivel de inteligență de procesare a semnalului și a datelor. Așa cum s-a arătat o RSff este reprezentată formal printr-un graf planar de rețea. De exemplu, modelul topologiei celor două RS din figura 2 este un graf cu 3 noduri-senzor, reprezentat în figura 5. Fiecare nod-senzor al RS este caracterizat prin coordonatele (x, y) de poziționare a nodurilor-senzor în planul care trece prin cele 3 puncte care reprezintă locațiile senzorilor. O RSff este compusă dintr-un număr de senzori repartizați pe o zonă geografică. Modelul topologiei RSff trebuie să reflecte atât conexiunile dintre nodurile RS, cât și coordonatele (x, y) ale poziției în plan pentru fiecare nod al RSff. Pentru ambele categorii de date am adoptat reprezentarea prin vectori, de lungime egală cu numărul de noduri din graful care modelează RSff.

Având în vedere că limbajul Matlab folosit de noi pentru simularea RSff operează în principal cu matrici și vectori de date am propus, pentru exprimarea conexiunilor prin unde radio dintre noduri, asocierea unui vector binar fiecărui nod al rețelei [5]. Am denumit acest vector **vector caracteristic** v_i al nodului i din RS. În cazul unei RS cu N noduri – senzor vectorul caracteristic are lungimea N adică, câte un element pentru fiecare nod din RS. În cazul unui nod izolat desprins de la rețea toate cele N elemente ale vectorului caracteristic aferent acestui nod, sunt nule. Aceasta semnifică faptul că acest nod nu are nici un nod vecin cu care să fie conectat. Pentru locațiile nodurilor-senzor sunt indicate coordonatele x și y . În cazul unui număr mare de noduri $N > 15$ reprezentarea devine incomodă datorită lungimii vectorilor caracteristici. În asemenea cazuri, noi propunem partiționarea grafului RSff în clustere de dimensiuni moderate și generarea automat separată a grafului fiecărui cluster, urmând ca modelul întregii RSff să fie obținut prin reuniunea grafulor clusterelor componente.

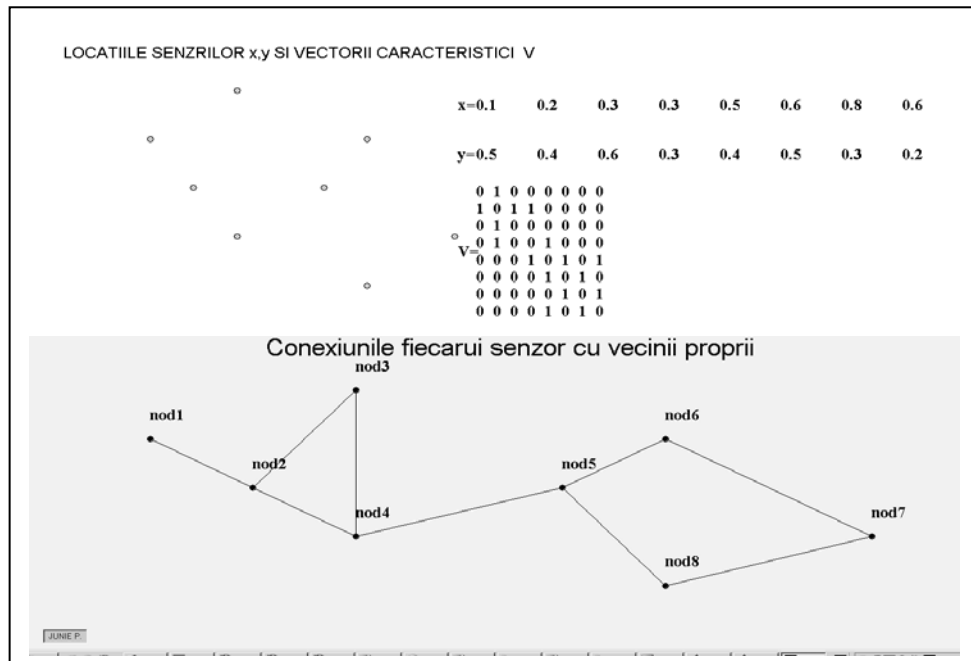


Figura 6. Locațiile x, y și vectorii caracteristici ai nodurilor pentru RSff și graful trasat automat de sistemul interactiv pt. generarea automată a unor modele grafo-analitice cu comandă Matlab, $gplot(xy, V, 'k-)$.

În figura 6 sunt prezentate datele inițiale x, y, V care trebuie introduse în calculator și pe baza cărora este trasat automat graful RSff folosind comanda matlab *gplot*. Aceste rezultate au stat la baza conceperii și testării unui sistem interactiv destinat generării automate a modelului grafo-analitic al topologiei RS. În figura 7 este prezentată schema bloc a acestui sistem interactiv. Interfața grafică a acestui sistem este realizată folosind caseta de dialog „*inputdlg*” disponibilă în Matlab. Interfața grafică este utilizată pentru introducerea datelor inițiale care constau din vectorii caracteristici V ai nodurilor și vectorii x, y de poziționare a nodurilor-senzor.

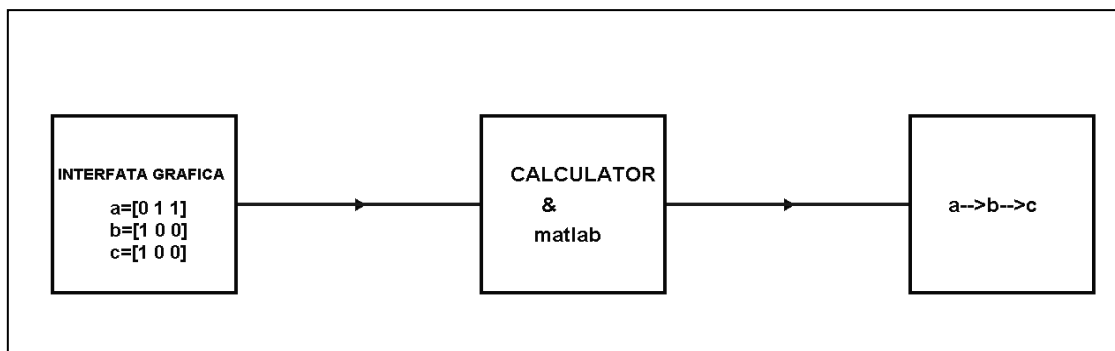


Figura 7. Schema bloc a sistemului interactiv pt. generarea automată a modelului topologiei RS

În figura 8 sunt prezentate casetele de dialog pentru introducerea coordonatelor locațiilor nodurilor-senzor ale RS și al vectorilor caracteristici ai nodurilor.

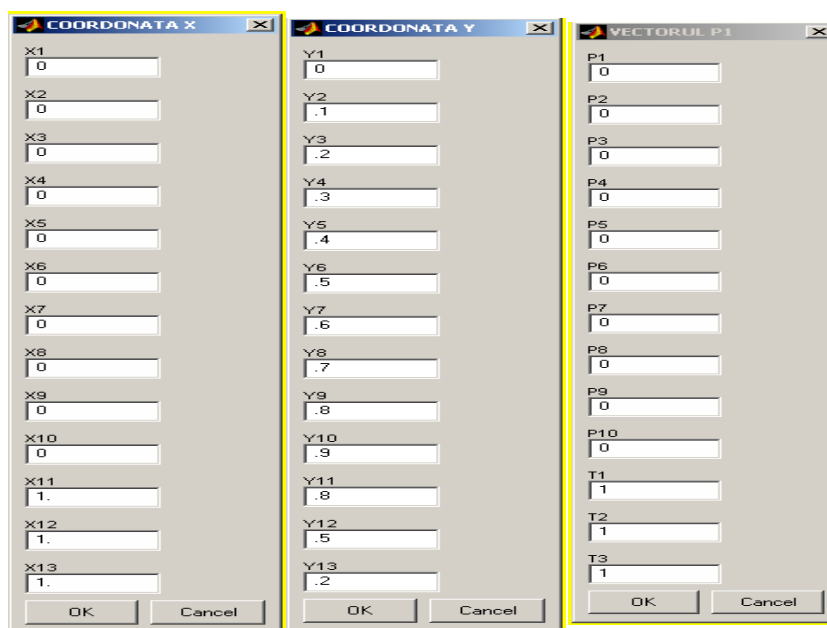


Figura 8. Casetele de dialog destinate introducerii datelor inițiale x, y și a vectorilor caracteristici ai nodurilor.

Ca răspuns la introducerea datelor de către utilizator este afișat pe ecranul monitorului graful și datele introduse similar cu cele prezentate în figura 6.

4. Concluzii

În această lucrare se prezintă unele rezultate ale cercetării științifice proprii privitoare la modelarea topologiei rețelelor de senzori fără fir (RSff) care s-au concretizat în următoarele contribuții:

1) procedura descompunerii grafului – model al RSff în clustere ce deschide perspective promițătoare referitoare la modelarea topologiei RSff de foarte mari dimensiuni și optimizarea căii de comunicație între un nod sursă și un nod destinatar;

2) inovația de reprezentare vectorial-matriceală a datelor inițiale pentru simularea în Matlab a topologiei RSff;

3) conceperea și implementarea unui sistem interactiv pentru trasarea automată asistată de calculator a grafului aferent topologiei RSff.

În ceea ce privește perspectivele dezvoltării în continuare a cercetării în această problemă apreciem că rezultatele obținute pot fi dezvoltate în continuare în direcția optimizării topologiei RSff.

BIBLIOGRAFIE

1. 21 ideas for the 21 century. *Business Week*, august, 1999, pp. 78–167.
2. **PARK, S.; SAVVIDES A.; SRIVASTAVA M. B.** Sensorsim: A Simulation Framework for Sensor Networks. În the Proceedings of MSWiM 2000, 2000.
3. **AMARIEI, C.; TEODOROV C.; FABIANI E.; POTTIER B.** Modeling Sensor Networks as Concurrent Systems. Proceeding of Fourth International Conference on Networked Sensing Systems, INSS'07, Braunschweig, Germany, June 2007.
4. **BERGE, C.** Theorie des graphes et ses applicatons. Ed. DUNOD, Paris, 1987.
5. **GHINEA, M.; FIRETEANU V.** MAILAB-calcul numeric-grafică –aplicații. Ed. Teora , București, 1995.