

# Rețea de Senzori cu Arhitectură Reconfigurabilă

Ababii V., Sudacevschi V., Podubnii M.

Universitatea Tehnică a Moldovei

Chișinău, Republica Moldova

ababii@mail.utm.md, svm700@mail.ru, podubnii@mail.ru

Roshchiupkin O.

Chernivtsi National University

Chernivtsi, Ukraine

o.roshchupkin@chnu.edu.ua

**Abstract** – In the paper is considering the design steps of a sensors network that contains data processing nodes with reconfigurable architecture. Network modeling identifies critical nodes where conflicts may arise in the data transmitting process and obtains the optimal topology for sensors network. Reconfiguration of data processing nodes is performed in real time. Reconfiguration condition is determined by the sensor node position in the network topology and allows the node configuration in router mode or data acquisition mode. In order to performs the functional verification of the designed network, synthesis of data processing nodes was realized, functional diagram of the system, object interaction diagram of the data processing nodes reconfiguration and interaction diagram of the data acquisition and processing were developed.

**Keywords** - sensors network, reconfigurable architecture, data processing nodes, mobile sensors, FPGA, Petri nets.

## I. INTRODUCERE

Domeniile de aplicare a rețelelor de senzori wireless sunt foarte variate. Fiecare domeniu se caracterizează prin anumite cerințe și restricții referitoare la fiabilitate, durata de viață, distanța de operare, frecvența de comunicare, topologia și dimensiunea rețelei, rata de eșantionare, algoritmi de procesare și stocare a datelor care determină alegerea senzorilor utilizați [1,2].

Pentru a satisface cerințele enumerate mai sus, sectorul industrial oferă o mulțime de produse necesare la implementarea rețelelor de senzori wireless (de exemplu: Jennic - JN5148 [3], Freescale - MC13213 [4], Ember - EM250, Texas Instruments - CC2430 [5], Samsung Electro-Mechanics - ZBS240 și Atmel - ATmega128RFA1 [6,7]). Astfel, utilizatorul, în conformitate cu specificul domeniului de activitate și, ținând cont de restricțiile spațial-geografice, poate alege soluția optimă.

În general, nodurile rețelelor de senzori sunt alcătuite din cinci componente de bază: setul de senzori, blocul de procesare, memorie, sursa de alimentare și blocul de comunicare wireless (emitere-recepție) [8]. Rețeaua de senzori constă dintr-un număr mare de noduri și, evident, costul unui singur nod v-a influența în mare măsură costul total al rețelei. Reducerea costului unui nod poate fi obținută prin limitarea volumului de memorie, simplificarea algoritmilor de procesare a datelor, reducerea volumului de date pentru comunicare și optimizarea căilor de comunicare.

Problemele care apar în procesul de sinteză, modelare și implementare a rețelelor de senzori sunt pe larg cercetate de numeroase colective. Rezultatele acestor cercetări sunt publicate în reviste de specialitate. Drept exemplu poate fi

menționată lucrarea [9], unde autorii prezintă un studiu comparativ complex ce ține de utilizarea rețelelor wireless mobile de senzori.

În lucrare este descrisă modelarea și sinteza unei rețele wireless mobile de senzori cu topologie dinamică și arhitectura reconfigurabilă a nodurilor, care permite investigarea extremelor unui spațiu incert.

## II. MODELAREA REȚELOR DE SENZORI ÎN BAZA REȚELOR PETRI

Formalismul rețelelor Petri este un tip de model orientat pe stări [11], definit pentru descrierea sistemelor distribuite în care au loc fenomene de paralelism, concurență, sincronizare și de partajare a resurselor. Toate proprietățile menționate sunt caracteristice și pentru rețelele de senzori.

O rețea Petri [10] este un 4-tuplu  $(P, T, F, M_0)$ , în care:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  - este o mulțime finită și nevidă de poziții;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  - este o mulțime finită și nevidă de tranziții;

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  - este o mulțime de arce de conectare a pozițiilor cu tranzițiile și a tranzițiilor cu pozițiile;

$M_0$  - este marcajul inițial.

Din punct de vedere grafic, o rețea Petri reprezintă un graf orientat, ponderat și bipartit, constând din două tipuri de noduri: poziții, reprezentate prin cercuri și tranziții, reprezentate prin bare sau dreptunghiuri [10]. Arcele sunt etichetate cu ponderile lor, care reprezintă valori întregi pozitive. Un marcaj sau o stare atribuie fiecărei poziții un număr întreg mai mare sau egal cu zero. Marcajul rețelei se poate schimba în conformitate cu regulile de validare și declanșare a tranzițiilor. Mulțimea marcajelor rețelei care poate fi obținută din marcajul inițial, în urma tuturor declanșărilor posibile ale tranzițiilor, poate fi reprezentată în forma unui graf de accesibilitate. Graful de accesibilitate este o formă comodă de studiere a proprietăților de comportare a rețelei Petri și poate fi utilizat la *verificarea funcțională și evaluarea performanțelor* rețelelor de senzori.

Rețelele Petri pot modela o varietate de caracteristici ale sistemelor (*secvențierea, ramificarea, sincronizarea, conflictul la resurse, concurența*). Modelele cu rețele Petri se pot utiliza pentru a testa și a valida anumite proprietăți comportamentale ale sistemelor, ca *siguranța, viabilitatea și reversibilitatea*. Siguranța, de exemplu, este proprietatea

rețelelor Petri care garantează că numărul marcajelor din rețea nu va crește în mod nelimitat. Viabilitatea este proprietatea rețelelor Petri care garantează o operare fără interblocare, asigurând existența a cel puțin unei tranziții care se poate activa. Reversibilitatea are semnificația repetabilității funcționării sistemului modelat [10-13].

Făcând o analiză comparativă dintre modelele de rețele Petri [10] și topologia unei rețele de senzori [9] pot fi găsite mai multe caracteristici comune care permit utilizarea următoarelor asocieri: poziția este echivalentă cu un nod; tranziția reprezintă procesul de comunicare; arcele exprimă legăturile fizice dintre noduri; marcajele descriu prezența datelor pentru comunicare (fluxul de date în rețeaua de senzori).

În Fig. 1 este reprezentată topologia unei rețele de senzori (Fig. 1.a) și modelul echivalent al rețelei Petri (Fig. 1.b).

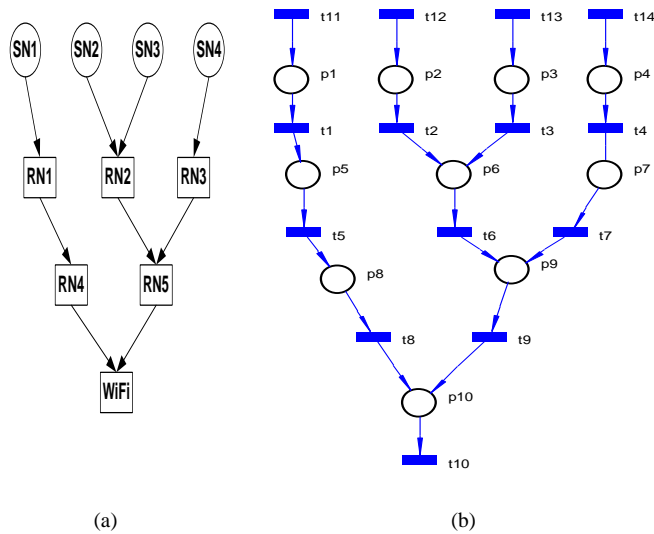


Fig. 1. Topologia rețelei de senzori (a) și modelul echivalent al rețelei Petri (b).

Relațiile dintre topologia rețelei de senzori și modelul rețelei Petri se explică prin echivalența:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{SN_1 \approx P_1, SN_2 \approx P_2, SN_3 \approx P_3, SN_4 \approx P_4\}; \\ \{RN_1 \approx P_5, RN_2 \approx P_6, RN_3 \approx P_7, RN_4 \approx P_8\}; \\ \{RN_5 \approx P_9, WiFi \approx P_{10}\} \end{array} \right.$$

În rezultatul modelării rețelei Petri au fost identificate nodurile critice **CN** care pot influența negativ procesul de funcționare a rețelei de senzori. Modificând topologia rețelei de senzori aceste neajunsuri pot fi excluse.

### III. STRUCTURA REȚELEI DE SENZORI

Rețeaua de senzori (Fig. 2) reprezintă o structură de calcul distribuit care constă din mai multe obiecte: **DP & RTC** - calculator pentru modelarea rețelei, configurarea nodurilor și procesarea datelor; **RF PIC MCU** - sistem microcontroler *rfPIC12F675F* [14] pentru transmiterea datelor de configurare a nodurilor rețelei de senzori; **ART Config** - antena de comunicare, cu acoperire totală a spațiului de investigare, transmite în timp real codul de configurare a nodurilor de

senzori; **WiFi AP** - punct de acces în baza tehnologiei **WiFi**; **RN** - noduri de rutare a datelor; **SN** - noduri de senzori pentru achiziția datelor; **CN** - noduri critice identificate în procesul modelării; **EI** - extremele spațiului destinat investigării.

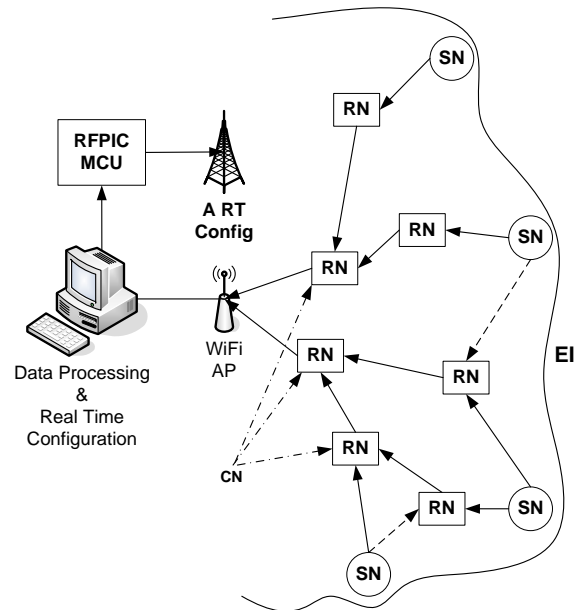


Fig. 2. Structura rețelei de senzori.

**Modul de funcționare a rețelei de senzori.** Sistemul **DP & RTC** gestionează procesul de configurare a nodurilor rețelei de senzori prin transmiterea codului de configurare la nodurile rețelei **RN** și **SN**. Datele de configurare sunt transmise prin portul **COM/UART** al calculatorului la sistemul MCU *rfPIC12F675F* [14] care procesează datele, și prin antena de emisie **ART Config**, transmite codul de configurare la toate nodurile rețelei de senzori. Un nod al rețelei poate funcționa în regim de router **RN** sau de achiziție **SN**. Nodurile de achiziție **SN** procesează datele de la senzor și le transmit prin rețeaua de noduri de rutare **RN** la punctul de acces **WiFi AP** care, la rândul său, le transmite la sistemul de procesare a datelor **DP & RTC**.

### IV. STRUCTURA NODURILOR DE PROCESARE A DATELOR

Rețeaua de senzori este formată din două tipuri de noduri de procesare a datelor care au o structură identică. Funcționalitatea acestora depinde de rolul pe care îl au în rețeaua de senzori, și anume: nod pentru rutare **RN** sau nod de achiziție a datelor de la senzor **SN**.

În Fig. 3 este prezentată structura nodurilor de procesare a datelor, unde: **S** - senzorul nodului; **SPI** - portul de comunicare dintre senzor și **FPGA**; **FPGA** - circuit cu arhitectura reconfigurabilă pentru procesarea datelor; **WiFi** - modul de comunicare în rețea (*ESP8266*) [15]; **UART** - portul

de comunicare dintre modulul **WiFi** și **FPGA**; **Flash** - memorie pentru stocarea codului de configurare a circuitului **FPGA**; **RF PIC** - circuit **rfPIC12F675F** pentru procesarea datelor de configurare, încărcarea acestora în memoria **Flash** și gestiunea procesului de configurare a circuitului **FPGA**; **RFRxD0420** - circuit pentru recepția codului de configurare, transmis de antena **ART Config**, prin unde radio [14].

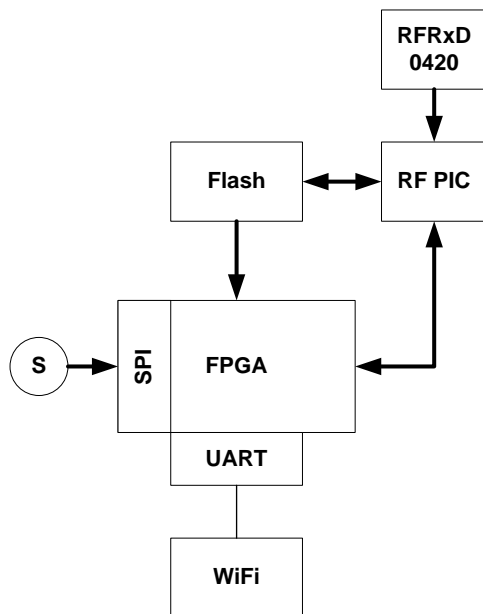


Fig. 3. Structura nodurilor de procesare a datelor.

#### V. SCHEMA FUNCȚIONALĂ A SISTEMULUI DE PROCESARE A DATELOR ȘI RECONFIGURARE ÎN TIMP REAL

Schema funcțională a sistemului de procesare a datelor și reconfigurare a circuitelor **FPGA** în timp real este prezentată în Fig. 4, unde: **UART** - portul serial standard al calculatorului; **Config Data** - codurile pentru configurarea circuitelor **FPGA** (sunt definite două coduri de configurare: primul pentru nodurile cu senzori **SN** și al doilea pentru nodurile de rutare **RN**); **Config Algorithm** - procedura algoritmului de identificare a regimului de funcționare pentru fiecare nod al rețelei; **Eth** - interfața de rețea pentru conectarea calculatorului la rețeaua **WiFi**;

**Proc Algorithms & Data** - algoritmi de procesare a datelor și datele recepționate din rețeaua de senzori; **Control Algorithms** - procedura de control și sincronizare a operațiilor efectuate de sistemul de procesare a datelor și reconfigurare în timp real a nodurilor rețelei de senzori.

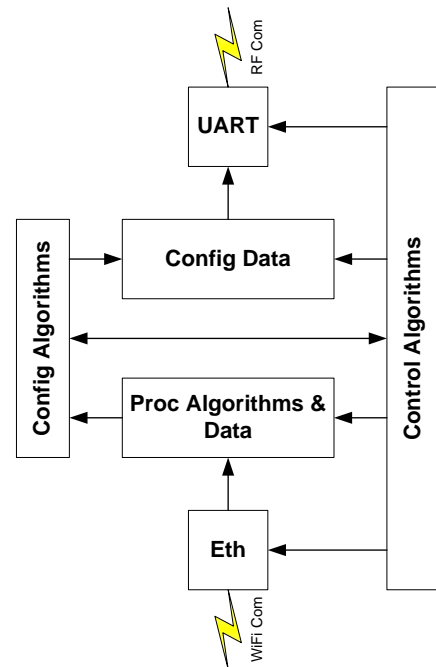


Fig. 4. Schema funcțională a sistemului de procesare a datelor și reconfigurare în timp real.

**Modul de funcționare a sistemului de procesare a datelor și reconfigurare în timp real.** Acest sistem îndeplinește două funcții de bază:

- **Stocarea și procesarea datelor** – este gestionată de blocul **Control Algorithms** care include primirea datelor din rețeaua **WiFi** prin intermediul interfeței **Eth**, stocarea acestora în memoria de date **Data** și procesarea acestora în baza algoritmilor **Proc Algorithms**.
- **Reconfigurarea în timp real** este gestionată de blocul **Control Algorithms** și include analiza datelor primite de la nodurile rețelei de senzori, efectuată de blocul **Config Algorithm**. În rezultatul acestor analize este identificată funcționalitatea fiecărui nod de procesare a datelor. În cazul în care nodul este amplasat la extremele spațiului de investigare, acesta este configurat ca nod de achiziție a datelor **SN**, dacă este amplasat în interiorul spațiului, acesta este configurat ca nod de rutare a datelor **RN**. Rezultatul acestor analize este transmis blocului de control **Control Algorithms** care selectează datele pentru configurare și gestionează procesul de transmitere a acestora nodului respectiv prin blocul **UART**.

#### VI. RECONFIGURAREA NODURILOR DE PROCESARE A DATELOR

Interacțiunea obiectelor în procesul de configurare a nodurilor de procesare a datelor este prezentată în Fig. 5.

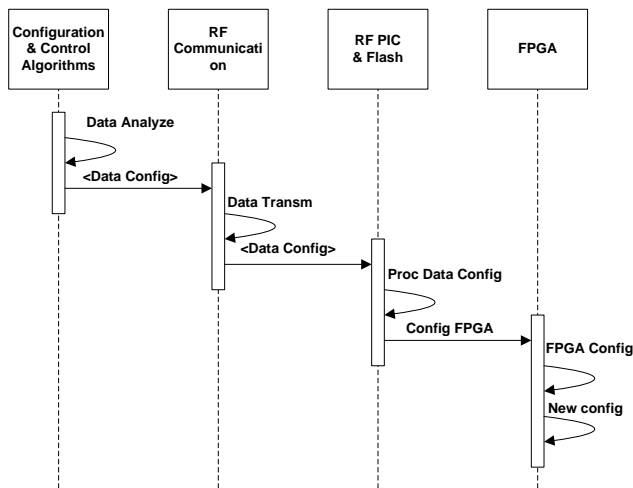


Fig. 5. Interacțiunea obiectelor în procesul de reconfigurare a nodurilor de procesare a datelor.

Secvența de configurare începe cu analiza datelor, în rezultatul căreia se ia decizia de reconfigurare a nodurilor rețelei de senzori. Codul de configurare a circuitului *FPGA* este transmis la nodul rețelei de senzori destinat reconfigurării. Comunicarea are loc în bază de frecvență radio (**380-450 MHz**). Rezultatul acestei comunicări este codul de configurare a nodului respectiv, înscris în memoria *Flash*. Sub gestiunea MCU *rPIC12F675F* datele de configurare din memoria *Flash* sunt înscrise în *FPGA*. După finalizarea transferului de date circuitul *FPGA* poate funcționa într-un regim nou.

#### VII. ACHIZIȚIA DATELOR DE LA REȚEAUA DE SENZORI ȘI PROCESAREA ACESTORA

Interacțiunea obiectelor în procesul de achiziție a datelor de la rețeaua de senzori și procesarea acestora este prezentată în Fig. 6.

Operația începe cu achiziția datelor de la senzor și este efectuată de nodurile *SN*, care transmit datele prin segmentul rețelei, format din noduri *RN*. Segmentul rețelei se termină cu punctul de acces *WiFi AP*. Datele recepționate de la senzori sunt procesate în conformitate cu algoritmul prevăzut.

#### CONCLUZII

În lucrare sunt prezentate rezultatele proiectării unei rețele de senzori cu arhitectura reconfigurabilă a nodurilor de procesare a datelor. Reconfigurarea are loc în dependență de funcțiile efectuate de nod. Pentru configurare este utilizat un canal radio simplex de frecvență (**380-450 MHz**) cu acoperire totală a spațiului investigat de rețeaua de senzori. Pentru achiziția datelor se utilizează tehnologia *WiFi* cu topologia ad-hoc.

Rețeaua de senzori proiectată permite reconfigurarea în timp real a nodurilor, limitând consumul de energie pentru comunicare.

Cercetările efectuate în această lucrare fac parte din cadrul proiectului bilateral Moldova-Ucraina 14.820.18.02.03/U "Rețea de senzori distribuți cu arhitectură reconfigurabilă a nodurilor de procesare a datelor".

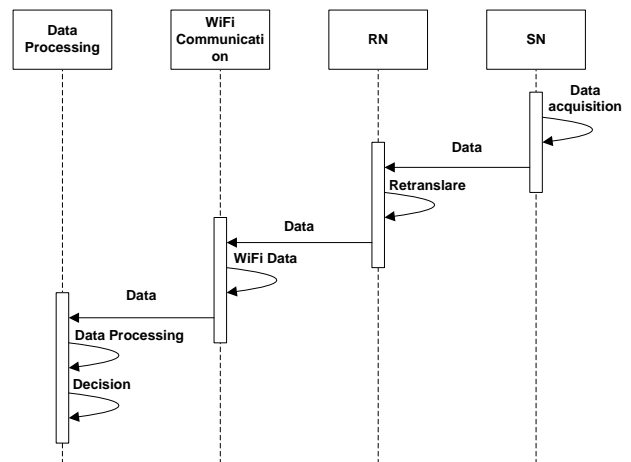


Fig. 6. Interacțiunea obiectelor în procesul de achiziție a datelor din rețeaua de senzori și procesarea acestora.

#### REFERINȚE

- [1] P. Junie, C. Eremia, „Unele contribuții privind modelarea topologică a rețelelor de senzori fără fir”, Revista Română de Informatică și Automatică, vol. 21, nr. 2, 2011, pp. 49-56.
- [2] M. Machedon-Pisu, „Optimizări energetice și funcționale ale sistemelor de achiziție pentru comunicații wireless în banda ISM”, Teză de doctorat, Universitatea “Transilvania” din Brașov, 2010.
- [3] <http://www.jennic.com/> (Accesat 15.02.2015)
- [4] <http://www.freescale.com/> (Accesat 15.02.2015)
- [5] <http://www.ti.com/> (Accesat 16.02.2015)
- [6] <http://www.samsungsem.com/> (Accesat 20.02.2015)
- [7] <http://www.atmel.com/> (Accesat 20.02.2015)
- [8] <http://www.sensor-networks.org/> (Accesat 15.02.2015)
- [9] Saad Ahmed Munir, Xie Dongliang, Chen Canfeng and Jian Ma “Mobile Wireless Sensor Networks: Architects for Pervasive Computing”, DOI: 10.5772/38734, ISBN 978-953-307-325-5, Published: June 30, 2011, (<http://www.intechopen.com>).
- [10] T. Murata, “Petri Nets: Properties, Analysis and Applications”, In: Proceedings of the IEEE, 1989, vol.77, no.4, pp.541-580.
- [11] O. Păstrăvanu, M. Matcovschi, C. Mahulea, “Aplicații ale rețelelor Petri în studierea sistemelor cu evenimente discrete”, Editura Gh. Asachi, 2002, ISBN 973-8292-86-7, p. 236.
- [12] E. Guțuleac și alții., “Timed Hybrid Petri nets visual simulation in VNP” In: Proceedings of the 7-th International Conference on DAS-2004, 27-29 May 2004, Suceava, România, pp. 279-286.
- [13] V. Sudacevschi, „Sinteza structurilor de procesare concurrentă a datelor”, Teza de doctor în tehnică. UTM, Chișinău 2009, 167 p.
- [14] <http://www.microchip.com> (Accesat 22.02.2015).
- [15] <https://nurdSPACE.nl/ESP8266> (Accesat 25.02.2015).