

## Подход за йерархична организация на безжична сензорна мрежа с ефективно и разпределено използване на енергията от сензорните модули

Пламен Захариев

*An approach for hierarchical organization of a wireless sensor network with effective and distributed utilization of the energy of the sensor nodes: This paper presents a study on the approaches for hierarchical organization of wireless sensor networks. In the introduction section of the paper are presented the main requirements for hierarchical organization of the network. An analysis of the most widely used approach is conducted in the second section of the paper and its main disadvantages are pointed out. Based on this analysis is proposed a novel approach for hierarchical organization of the wireless sensor networks, that provides both energy efficiency and energy balance. Trough simulation experiments with variations of the monitored parameters the lifetime of the network and its performance is analyzed.*

**Key words:** *Wireless Sensor Networks, Energy efficiency, Sensor nodes.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

С напредъка на безжичните комуникации и нано-технологиите, сензорните модули стават все по-малки, по-евтини и по-функционални. Това позволява използването на тази технология за множество цели и в множество сфери на човешкия живот [1]. Безжичните сензорни мрежи (БСМ) се използват за военни операции и разузнаване, наблюдение на околната среда, интелигентни сгради, наблюдение на пациенти в болнични заведения, както и за множество други образователни и комерсиални цели [2,3]. Основна цел на този тип мрежи е предоставянето на информация за възникване на определен тип събитие или периодично предаване на определени данни към базова станция за анализ и взимане на решения. За постигането на тази цел се прилагат специализирани маршрутизиращи протоколи, чиято цел е определянето на маршрутите на информационните потоци [4]. Въпреки това заради специфичните ограничения на устройствата, както от софтуерна, така и от хардуерна гледна точка, алгоритмите заложили в тези маршрутизиращи протоколи, трябва да бъдат адаптирани спрямо следните фактори:

- Сензорните мрежи (в повечето случаи) се състоят от хиляди модули, което изключва употребата на широко приетата архитектура с централизирано управление на устройствата. Вместо това маршрутизиращите алгоритми за безжични сензорни мрежи трябва да предоставят възможността за изграждане на йерархична архитектура [5,6]. При този тип архитектура сензорите се организират в клъстери, управлявани от контролен модул. Избора на това устройство се извършва локално от модулите в клъстера.

- Заради ограничената енергия с която разполагат сензорните модули, маршрутизацията алгоритъм трябва да определи маршрут, при който ще се изразходва най-малко енергия за комуникация, като по този начин се увеличи максимално експлоатационната продължителност на системата [5].

- Избора на най-енергийно ефективен маршрут ще доведе до неравномерно натоварване на някои от устройствата в мрежата. В зависимост от подхода за предаване на данни (директен или последователен) това ще бъдат устройствата, намиращи се най-далеко от базовата станция или тези в непосредствена близост до нея [6, 7]. Сензорните модули, подложени на по-интензивен трафик, ще изчерпят по-бързо енергийните си запаси, което означава, че части от наблюдаваната зона ще останат непокрити от сензорната мрежа. Това налага адаптирането на маршрутизиращите алгоритми така, че да се гарантира, както ефективно, така и разпределено използване на енергията от устройствата.

### АНАЛИЗ НА ПОДХОДА ЗА ЕФЕКТИВНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА ПРИ КОМУНИКАЦИЯ В БСМ

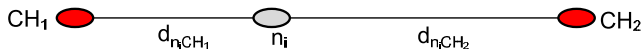
За изследване на съвременния подход за организация на клъстерите в йерархичните безжични сензорни мрежи системата може да се представи посредством граф  $G(V,E)$ , като набора от върхове  $V$  представлява сензорните модули, а набора с дъги  $E$  обозначава кои модули комуникират помежду си. Ако не се отчете ограничения радио обхват на устройствата и приемайки, че те могат да комуникират помежду си, мрежата може да се представи като напълно свързан граф  $G'(V,E')$ , където  $E'$  е набор от всички дъги в графа.  $G(V,E)$  представлява непълно свързан граф, който може да се получи чрез премахване на дъги от  $G'(V,E')$ . Условието, кои дъги да се премахнат при подхода за организация на клъстерите с цел ефективното използване на енергията за комуникация се определя въз основа на разстоянието между всеки два сензорни модула, като:

$$E(n_y, n_z) \begin{cases} \in E, & \text{ако } W(n_y, n_z) = \min(D_{n_y}) \\ \notin E, & \text{ако } W(n_y, n_z) \neq \min(D_{n_y}) \end{cases}, \quad (1)$$

където  $n_y$  и  $n_z$  са произволни сензорни модула,  $W(n_y, n_z)$  е тегловния коефициент на дъгата между тези два върха от графа, равен на разстоянието между тях, а  $D_{n_y}$  е набора от дъги в които  $n_y$  участва и е равен на:

$$D_{n_y} = [W(n_y, n_1), W(n_y, n_2), \dots, W(n_y, n_j)], \quad (2)$$

където  $j$  е цяло число изменящо се в границите  $j = (0, y) \cup (y, N]$ , а  $N$  е общия брой на сензорните модули в мрежата.



Фиг. 1 При подхода за ефективно използване на енергията  $n_i$  ще се асоциира с  $CH_1$ ,

$$\text{ако } d_{nCH_1} < d_{nCH_2}$$

На Фиг. 1 е показана ситуация, при която сензорния модул  $n_i$  трябва да избере към кой от двата управляващи модула ще се асоциира. Съгласно подхода за ефективно използване на енергията, сензорния модул ще се асоциира с  $CH_1$ , ако  $d_{nCH_1} < d_{nCH_2}$  или с  $CH_2$ , ако  $d_{nCH_2} < d_{nCH_1}$ . По този начин една от дъгите в графа отпада. Прилагайки този подход върху всички сензорни модули в мрежата  $G'(V,E')$  се трансформира в  $G(V,E)$ .

### ПОДХОД ЗА ЕФЕКТИВНО И РАЗПРЕДЕЛЕНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА В БСМ

Подхода за ефективно използване на енергията гарантира увеличаването на експлоатационната продължителност на устройствата, посредством избор на маршрут, при който ще се изразходи най-малко количество енергия в сравнение с другите възможни маршрути в мрежата. Въпреки това този подход се характеризира и с неравномерното използване на енергийните ресурси от всички модули. За специализирани БСМ, където отпадането на едно устройство, заради изчерпването на енергийните му ресурси, е пагубно за производителността на мрежата, този

подход е крайно неподходящ. Модифицирането на подхода с цел увеличаване на общата експлоатационна продължителност на устройствата в мрежата, като същевременно се гарантира и равномерното разпределение на енергията между модулите е изключително важно за цялостната производителност на системата.

За целта се предлага модифициран подход, при който се отчита наличното количество енергия, както от страна на предавателя, така и от страна на приемника. Това би гарантирало по-адекватното разпределение на енергията в мрежата.

Разглеждайки клъстер  $j$  съставен от  $N_j$  сензорни модула, то за всеки три модула  $n_a$ ,  $n_b$  и  $n_c$ , такива, че  $n_a, n_b, n_c \in N_j$ , ако се приеме, че  $n_a$  е устройството, което трябва да предава информация, са възможни три маршрута – директно предаване на данните към управляващия клъстера модул  $CH_j$  и съответно последователно предаване посредством  $n_b$  и  $n_c$ .

Съгласно подхода за ефективно и разпределено използване на енергията при комуникация в БСМ,  $n_a$  ще предаде информацията си към  $n_b$ , ако:

$$\frac{E_{Comm}(n_a, n_b)}{E_{n_a}} \frac{E_{RX}}{E_{n_b}} + \frac{E_{Comm}(n_b, CH_j)}{E_{n_b}} < \frac{E_{Comm}(n_a, CH_j)}{E_{n_a}} \quad (3)$$

и

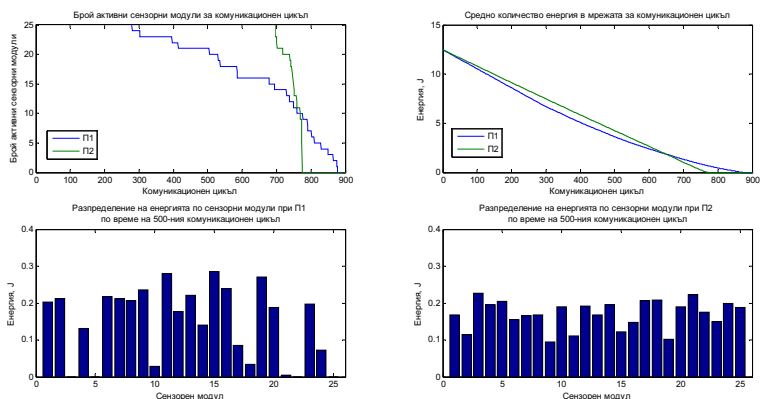
$$\frac{E_{Comm}(n_a, n_b)}{E_{n_a}} \frac{E_{RX}}{E_{n_b}} + \frac{E_{Comm}(n_b, CH_j)}{E_{n_b}} < \frac{E_{Comm}(n_a, n_c)}{E_{n_a}} \frac{E_{RX}}{E_{n_b}} + \frac{E_{Comm}(n_c, CH_j)}{E_{n_c}} \quad (4)$$

където  $E_{Comm}$  и  $E_{RX}$  са съответно енергията необходима за комуникация между две устройства и енергията необходима за получаване на информацията от приемника, дефинирани с енергийния модел в [3], а  $E_{n_a}$ ,  $E_{n_b}$  и  $E_{n_c}$  са съответно количеството енергия в сензорните модули  $n_a$ ,  $n_b$  и  $n_c$ .

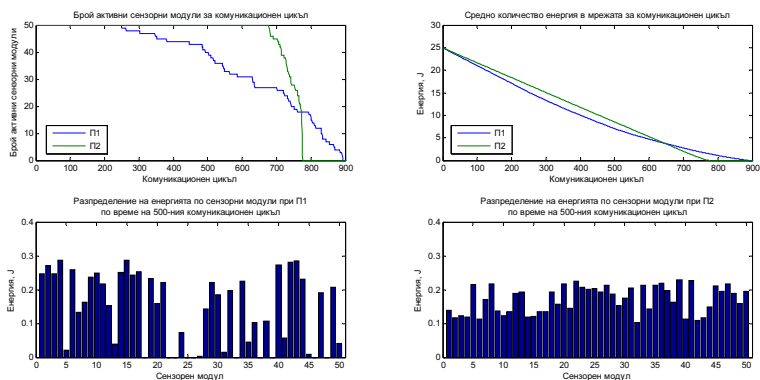
Въвеждането на отношението между енергията необходима за получаване на информацията от приемника и наличната енергия в устройството гарантира избора на такъв сензорен модул, че да се постигне както ефективно, така и разпределено използване на енергията за комуникация от сензорните модули в мрежата. Въпреки, че маршрута, които е избран не е най-ефективния по отношение на количеството изразходвана енергия, чрез този подход се позволява по-продължителната работа на целия набор устройства в мрежата.

## ИЗСЛЕДВАНИЯ И РЕЗУЛТАТИ

Сравнителния анализ между подхода за ефективно използване на енергията (П1) и подхода за ефективно и разпределено използване на енергията при комуникация в БСМ (П2) е извършен посредством симулационни изследвания със софтуерния продукт MatLab. За целта са създадени модели на двата подхода, които са приложени върху безжична сензорна мрежа разположена на площ от 100x100 м<sup>2</sup>. Проведени са две серии от изследвания, съответно с мрежи съставени от 25 и 50 сензорни модула. При всички симулации се приема, че базовата станция е разположена в координати  $x=100$ ,  $y=100$  (на границата на зоната на сензорната мрежа). Резултатите от изследванията са обобщени на Фиг. 2 и 3.



**Фиг. 2** Обобщени резултати от изследванията при безжична сензорна мрежа съставена от  $n=25$  сензорни модула



**Фиг. 3** Обобщени резултати от изследванията при безжична сензорна мрежа съставена от  $n=50$  сензорни модула

От проведените симулационни изследвания може да се заключи, че предложеният подход увеличава експлоатационната продължителност на всички сензорни модули в мрежата с до 3 пъти, което би гарантирало по продължителното надеждно следене на наблюдаваната зона. Въпреки това, както беше казано в предходната точка, за приложението на предложението подход системата се нуждае от по-голямо количество енергия за комуникационен цикъл, което довежда до по-ранното изчерпване на енергия в сензорните модули. Независимо от това темпа на спад на енергията в системата при P2 е приблизително константен което означава, че може да се прогнозира приблизителната експлоатационна продължителност на системата. При P1 този темп се променя динамично с отпадането на първите сензорни модули, което внася нестабилност в общата работа на системата.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработения подход внася значителни подобрения в работата на безжичните сензорни мрежи. Като насока за бъдеща работа може да се постави доразвиването на подхода с цел увеличаване на общата експлоатационна продължителност на системата, както и експерименти с разработения подход в реална среда.

*Публикуваните резултати са получени при работата по договор № ДМУ-02/13-2009 на Фонд „Научни изследвания“ към Министерството на образованието, младежта и науката.*

### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] П. Захариев, Г. Христов, М. Илиев, Анализ на модели за определяне продължителността на периода на устойчиво състояние в безжични сензорни мрежи. Научни трудове на Русенски университет, том 48, серия 3.2, Русе, 2009, с. 65 – 71

[2] П. Захариев, Г. Христов, М. Илиев, Модел за определяне броя и ефективния радиус на клъстери в безжични сензорни мрежи. Известия на Техническия университет Габрово, том 38' 2009, Габрово, с. 68 – 72, 2009.

[3] М. Илиев, Цветкова И, Бенчева Н., Радев Д.. Симулация на алгоритъм за позициониране на обекти в сензорни мрежи. Научни трудове на Русенски университет, том 48, серия 3.2, Русе, 2009, с. 42 – 47

[4] P. Zahariev, G. Hristov, T. Iliev, Study on the impact of node density and sink location in WSN, Technological Developments in Networking, Education and Automation, Springer, 2010.

[5] G. Hristov, P. Zahariev, T. Iliev, M. Iliev, An approach for energy optimization in wireless sensor networks, 33rd International Convention on Information and Telecommunication Technology, Electronics and Microelectronics, Opatija, Croatia, pp. 203 – 206, 2010.

[6] P. Zahariev, G. Hristov, T. Iliev, A method for reducing the energy dissipation in wireless sensor networks using edge node, 33rd International Convention on Information and Telecommunication Technology, Electronics and Microelectronics, Opatija, Croatia, pp. 207 – 210, 2010.

[7] G. Hristov, T. Iliev, D. Radev, P. Zahariev, M. Iliev, Analysis of forward error correction codes for improvement of the energy consumption in WSN, Proceedings of the 2nd International Symposium on Radio Systems and Space Plasma, Sofia, pp. 71 – 74, 2010.

### **За контакти:**

ас. инж. Пламен Захариев, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082 888 663, e-mail: pzahariev@uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран.**