

Анализ на модели за определяне продължителността на периода на устойчиво състояние в безжични сензорни мрежи

Пламен Захариев, Георги Христов, Михаил Илиев

Analysis of models for determining the length of the stability period in wireless sensor networks: *This paper describes the wireless sensor networks and their main characteristics. We define the main performance measures we use for the evaluation of the length of the stability period and the lifetime of the network. We provide simulation results of the conducted studies and discussion on the results.*

Key words: *Wireless sensor networks, Wireless Mote, Cluster-based routing algorithms.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Напредъка в микросензорните технологии доведе до разработване на малки и евтини сензорни устройства с възможности за безжична комуникация. Тези устройства могат да формират безжична сензорна мрежа (БСМ), която следи за възникването на определено събитие. Безжичните сензори не са много точни и надеждни поотделно, но разгръщането им в организирана мрежа повишава тяхната точност и надеждност. Безжичните сензорни мрежи се използват при обстоятелства не позволяващи използването на други безжични мрежи, като зони с активна вулканична дейност, химически заводи и т.н..

БСМ имат множество предимства - те са по-лесни, по-бързи и по-евтини за мащабиране от кабелните мрежи или от други безжични мрежи [1]. Имат голяма област на покритие, по-голям обхват и по-висока степен на достоверност на предаваните съобщения в сравнение с другите безжични мрежи. Безжичните сензорни мрежи са или самоконфигуриращи се или самоорганизиращи се [2]. Тези предимства гарантират реализирането им в много сфери - здравеопазване, образование, военна, търговия и т.н.

Използването на пълния потенциал на БСМ ще предостави ефективно и евтино решение за много проблеми, но за постигането на тази цел ще бъде необходимо използването на нови механизми и алгоритми, които да направят тези мрежи практични и удобни, вземайки предвид ограниченията на самите сензори.

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА БЕЗЖИЧНИТЕ СЕНЗОРНИ МРЕЖИ

Основната идея при БСМ е употребата на множество сензори за събиране на информация за дадено събитие. Сензорите са малки и имат ограничени ресурси: енергия, изчислителна мощ, комуникационен обхват и памет. Те са снабдени с радиопредавател за да предадат събраната информация към някоя от базовите станции.

Източник на енергия за повечето безжични сензори са батерии, което ги прави изключително зависими от разхода на енергия. Радио интерфейса на тези сензори има ограничена сила и обхват. БСМ са също и с ограничена широчина на канала. Поради произволното разположение на сензорите се наблюдава различната им плътност в мрежата, а отпадането на някои от тях, води до намаляване на плътността им в дадена зона. Сензорите са податливи на смущения и на повреди вследствие на средата в която се използват. Това води до постоянни и динамични промени в мрежовата топология. Големи промени в топологията на една БСМ могат да бъдат внесени и от добавянето на нови сензори.

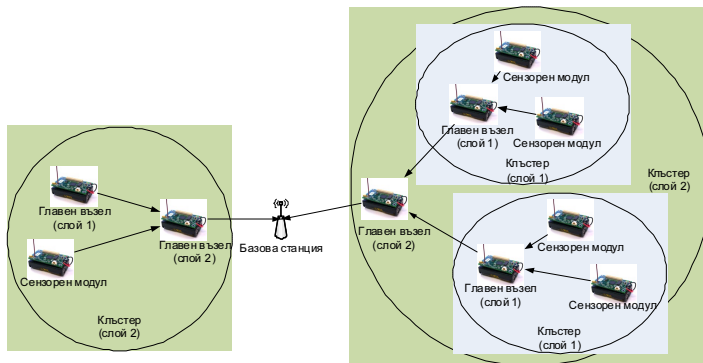
В БСМ сензорните устройства нямат IP адреси и не използват глобални идентификатори. Механизми за адресация в този тип мрежи се използват само при нужда и се контролират от приложния слой. Сензорните устройства в БСМ отчитат едни и същите събития и изпращат информация за тях на базовата станция. Поради този факт сензорите намиращи се в една и съща зона на мрежата ще предават към

базовата станция дублирана информация за отчетеното събитие. БСМ се характеризират с резервираност по отношение на предаването на информация, която може да се използва от протоколите за маршрутизация [3].

ЙЕРАРХИЧНО МАРШРУТИЗИРАНЕ

Всеки един маршрутизиращ протокол координира дейностите на отделните устройства в мрежата, за да повиши нейната ефективност. Мрежите използващи протоколи за йерархично маршрутизиране групират сензорите в клъстери с цел ефективното предаване на информация за наблюдаваното събитие към потребителя. Всеки клъстер от сензори има главен възел или шлюз, който може да бъде и енергийно независим. Главният възел може да агрегира данните, получени от сензорите в клъстера, изпращайки към потребителя обобщена информация. Процесите включващи формирането на клъстерите в БСМ, комуникацията с главния възел, агрегирането на информация и комуникацията между клъстерите са актуална тема на научни разработки по цяла свят.

Йерархичното маршрутизиране намалява разхода на енергия чрез ограничаване на комуникацията в рамките на клъстерите и чрез агрегиране на информацията, подавана към базовата станция. Клъстерите се формират въз основа количеството на енергията във всеки един сензор. Първият създаден протокол с йерархично маршрутизиране за БСМ е LEACH [1, 6]. В последствие са разработени множество протоколи използващи йерархично маршрутизиране [5, 7], но на практика LEACH остава еталон за сравнение. Изследването на протоколите за маршрутизиране в БСМ неимоверно ще доведе и до нуждата от анализ на техните характеристики и приложение.

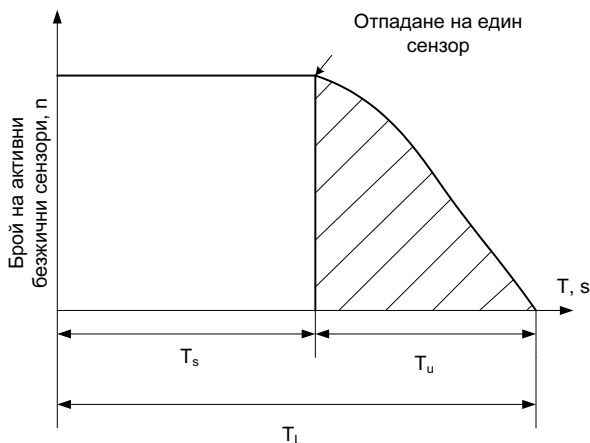


Фиг. 1. Йерархичен клъстерен модел

Йерархичният модел структурира мрежата на слоеве от клъстери (Фигура 1), състоящи се от множество сензори и главен възел, който дефинира маршрута от клъстера към други главни възли или базовата станция.

Информацията преминава последователно от ниските клъстерни слоеве към по-високите, като при този модел се използват множество ретранслации между отделните клъстерни слоеве, като главните възли изпълняват агрегация на информацията. Това прави йерархичния клъстерен модел по подходящ за време-зависими приложения. Един от значимите недостатъци на този модел е, че с увеличаването на разстоянието между главните възли в мрежата, изразходваната за комуникация енергия е правопрпорционална на разстоянието. Друг проблем при този модел е неравномерното изразходване на енергия след отпадането на един и

повече сензори, т.е. алгоритма за формиране в клъстери и дори комуникацията между отделните главни възли става несигурна и неефективна. Периода на устойчиво състояние е изключително важен параметър и е обект на изследване в редица научни трудове [4, 5, 6]. Целта е да се покаже зависимостта на периода на устойчиво състояние от точността на използвания модел за изчисляване на изразходваната енергия от мрежата.



Фиг. 2. Време за живот на БСМ при използването на йерархичен клъстерен модел

ОПИСАНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ ПАРАМЕТРИТЕ

За изследване на периода на устойчиво състояние се наблюдават следните параметри:

- ✓ *Продължителност на периода на устойчиво състояние - T_s* : Времеви интервал от началото на работа на безжичната сензорна мрежа до момента в който отпадне един сензор. (Фиг. 2).
- ✓ *Продължителност на периода на нестабилност - T_u* : Времеви интервал от момента на отпадане на един сензор до момента в който отпадне последния сензор в мрежата (Фиг. 2).
- ✓ *Време за живот на мрежата - T_L* : Времеви интервал от началото на работа на мрежата до момента на отпадане на всички сензори в мрежата (Фиг. 2).

СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛИ

За изпълнение на целта на изследванията са разработени четири модела на MatLab, всеки от които изследва различни процеси, отчитайки енергията изразходвана от сензорните възли за различни рутинни действия, считана от повечето литературни източници [1, 5, 6] за незначителна.

Сензорната мрежа в симулационните постановки е разположена на площ от $M=100 \times 100 \text{ m}^2$, където базовата станция се намира на координати $x=50 \text{ m}$, $y=50 \text{ m}$, а броя на сензорите $n=100$. Приемайки тази информация енергията изразходвана от всеки един сензор в мрежата може да бъде дадена като:

$$E_{\text{Sensor}} = E_{\text{TX}}(B, d_{\text{CH}}), \quad (1)$$

където $B=4000$ е големината на предаваните пакети в битове, d_{CH} е разстоянието от сензора до главния възел в клъстера, а E_{TX} е енергията изразходвана за предаване и може да се даде с формулата:

$$E_{TX}(B, d) = \begin{cases} B.E_{elect} + B.E_{fs} \cdot d^2 & \text{if } d < d_0 \\ B.E_{elect} + B.E_{mp} \cdot d^4 & \text{if } d \geq d_0 \end{cases}, \quad (2)$$

където E_{elect} и енергията изразходвана за предаване или приемане на един бит информация, E_{fs} и E_{mp} са параметри на усилвателя, d е разстоянието до приемника, а d_0 е еталонно разстояние, определено посредством израза: $d_0 = \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{ms}}}$. Енергията за приемане на B бита информация от приемника може да се даде като:

$$E_{RX}(B) = B.E_{elect} \quad (3)$$

Енергията изразходвана от всеки един главен възел може да се изчисли със следната формула:

$$E_{CH} = B \cdot \left(E_{elect} \left(\frac{n}{k} - 1 \right) + E_{DA} \frac{n}{k} \right) + E_{TX} \quad (4)$$

където E_{DA} е енергията необходима за агрегация на информацията от отделните сензори, а k е броя на клъстерите в мрежата. Общата изразходвана енергия от всички устройства в сензорната мрежа за един комуникационен период е:

$$E_{Total} = \sum_{i=1}^{n-k} (E_{Sensor})_i + \sum_{j=1}^k (E_{CH})_j \quad (5)$$

При симулационното изследване, като основен модел избираме дефинирания чрез формула (5). Този модел използва само енергията за агрегацията на информация и предаване, което не включва реално всички операции извършвани от сензорите в мрежата. За тази цел ние последователно разширяваме този модел отчитайки влиянието на енергията за преход между активно и пасивно състояние на сензорите, E_{tr} , енергията изразходвана за събиране на информация от средата, E_{sens} , и тяхната комбинация. E_{tr} и E_{sens} могат да бъдат изчислени за всеки сензор посредством:

$$E_{tr} = T_A \cdot U (c \cdot I_A + (1 - c) I_s), \quad (6)$$

$$E_{sens} = U \cdot I_{sens} \cdot T_{sens}, \quad (7)$$

където T_A е времето за престой в активно състояние на сензора, U е напрежението на батерията, c е продължителността на един работен цикъл, I_A е токът през активния период, I_s е токът през пасивния период, I_{sens} е токът по време на процеса по събиране на информация, T_{sens} е продължителността на периода по събиране на информация. Стойностите на използваните параметри са дадени в Таблица 1.

Таблица 1. Симулационни параметри

Параметър	Описание	Стойност
c	Продължителност на един работен цикъл	12 ns
U	Напрежение на батерията	3 V
B	Големина на пакетите	4000 bits
E_{elect}	Енергия за предаване/приемане	50 nJ/bit
E_{fs}	Енергия изразходвана от усилвателя	10 pJ/bit/m ²
E_{mp}	Енергия изразходвана от усилвателя	13.10 ⁻⁴ pJ/bit/m ²
I_A	Ток през активния период	8 mA
I_s	Ток през пасивния период	1 μA
I_{sens}	Токът по време на процеса по събиране на информация	25 mA
T_A	Време за престой в активно състояние	1 ms
T_{sens}	Периода за събиране на информация	0,5 ms

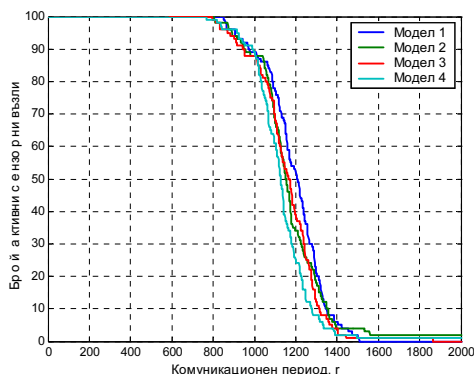
Обобщение на моделите използвани в симулациите е дадено в Таблица 2

Таблица 2. Симулационни модели

Модел	E_{TX}	E_{RX}	E_{DA}	E_{sens}	E_{tr}
1	√	√	√	-	-
2	√	√	√	√	-
3	√	√	√	-	√
4	√	√	√	√	√

РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОВЕДЕНИТЕ СИМУЛАЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

На Фигура 3 са представени резултатите от проведените симулационни изследвания с моделите представени в Таблица 2. Анализирайки получените резултатите, може да се достигне до заключението, че отчитането на влиянието на енергията изразходвана за събиране на информация от средата и енергията за преход между активно и пасивно състояние на сензорите, води до по-адекватно определяне на продължителността на периода на устойчиво състояние в мрежата. Стойностите за продължителността на периода на устойчиво състояние, получени от симулационните изследвания са дадени в Таблица 3.



Фиг. 3. Резултати от проведените симулационни изследвания

Таблица 3. Получени стойности за периода на устойчиво състояние

	Модел 1	Модел 2	Модел 3	Модел 4
$T_s, /r$	851	806	796	766

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията са извършени серия от симулационни изследвания целящи определянето на продължителността на периода на устойчиво състояние. От направените изследвания може да се стигне до заключението, че влиянието на енергията изразходвана за събиране на информация от средата и енергията за преход между активно и пасивно състояние на сензорите не трябва да се пренебрегва по време на процеса за определяне на продължителността на периода на устойчиво състояние. Отчитането на тяхното влияние води до по-адекватно определяне на броя на комуникационните периоди, които системата прекарва в устойчиво състояние. От Таблица 3 може да се види, че отчитайки тези стойности точността на процеса по определяне на периода на устойчиво състояние се повишава и системата реално преминава в период на нестабилност много по рано от стойностите определени в другите модели.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Heinzelman, W., A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks, In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-33), 2000.
- [2] Akyildiz, I., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, vol. 8, pp 102–114, 2002.
- [3] Bandyopadhyay, S., E. J. Coyle, An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks. In Proceedings of the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Infocom 2003), 2003.
- [4] Bandyopadhyay, S., E. J. Coyle. Minimizing communication costs in hierarchically-clustered networks of wireless sensors, Comput. Networks, vol. 1, pp. 1–16, 2004.
- [5] Wan, C. Y., A. T. Campbell, L. Krishnamurthy, PSFQ: A reliable transport protocol for wireless sensor networks, In proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (WSNA 2002), pp. 1–11, July 2002.
- [6] Chandrakasan, A., A. Smith, W. Heinzelman, An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks, In IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, pp. 660-670, 2002.
- [7] Lin, C., M. Gerla, Adaptive clustering for mobile wireless networks, In IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, pp. 1265-1275, 1997

За контакти:

инж. Пламен Златков Захариев, катедра „Комуникационна техника и технологии“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, e-mail: plamen_zahariev@yahoo.com

Гл. ас. д-р инж. Георги Валентинов Христов, катедра „Комуникационна техника и технологии“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, e-mail: ghristov@mbx.contact.bg

Доц. д-р инж. Михаил Петков Илиев, катедра „Комуникационна техника и технологии“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, e-mail: miliev@ecs.ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.