

КЛАСИФИКАЦИЯ НА РУТИРАЩИТЕ ПРОТОКОЛИ В БСМ*

ТЕОДОРА Т. СТОЯНОВА

CLASSIFICATION OF ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

TEODORA T. STOYANOVA

ABSTRACT: *Wireless Sensor Networks (WSN) consist of small sensor nodes scattered on a relatively large area. Routing protocols are used for network communication. They find the appropriate way to transmit the data and maintain the routes in the network. The routing protocols in WSNs depend on the application and the network architecture. This paper presents the classification and comparison of routing protocols.*

KEYWORDS: *Wireless Sensor Network (WSN), sensor nodes, routing protocols, applications.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Безжичната сензорна мрежа (БСМ) съдържа стотици или хиляди сензорни възли, които имат възможност да комуникират по между си или директно да изпращат данните към базова станция (БС). Всеки сензорен възел включва сензорна част, обработваща част, предаваща част, система за откриване на местоположението и батерия. Обикновено са разпръснати в сензорно поле, представляващо област, в която те трябва да следят определени параметри, комуникирайки по между си, за да получават актуална информация. [1]

* Настоящата статия е финансирана от Фонд „Научни изследвания“ към Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ по проект № РД-08-97/06.02.2017 г.

Като основен фактор, който прави безжичните сензорни мрежи атрактивни е предимството им да събират и предават информация за област, в която човешкият фактор е сведен до минимум или напълно невъзможен, при това за достатъчно дълъг период от време.

Цел на създаване на безжичните сензорни мрежи е военното приложение, но днес се използват в много индустриални и потребителски приложения, като мониторинг и контрол на машини и тръбопроводи, управление на верига за доставки, проследяване на цел и т.н. [2] Използват се и в области, като транспорт, здравеопазване, околната среда и др.

Една БСМ се състои от протоколи и алгоритми със самоорганизиращи възможности. Те са необходими за комуникация и изпращане на данни от един сензорен възел до друг. Съществуват множество рутиращи протоколи, но продължава да се работи върху създаването на нови и по-ефективни. Протоколите за рутиране са класифицирани по множество различни начини.

Предизвикателства пред БСМ

Има редица предизвикателства пред БСМ, които създават ограничения за нейното използването, като основните са:

- Управление на ограничена енергия

Различните приложения на БСМ се нуждаят от повече енергия, но ограничението на мощността понякога причинява отказ в процеса на функциониране.

- Липса на ресурси

Малкият размер на сензорните възли води до ограничение на ресурси. Всеки сензор има ограничена памет, честотна лента и изчислителна способност.

- Машабируемост и мобилност

Възлите в сензорната мрежа се преместват много често от началната си позиция, така че това води до отказ на връзката, който засяга комуникацията между тях.

- Динамични мрежови топологии

Сензорните възли се разполагат без предварително планиране, така че топологията на мрежата може да се промени

поради много причини, като промяна на позицията на възела, отказ на възел поради физически увреждания и ограничена налична мощност.

- Адаптивност

Движенията на възлите причиняват отказ на комуникация. Преустройството на маршрута трябва да бъде бързо и приспособимо.

- Събираемост на данни

Събирането на данни намалява количеството енергия, което се използва по време на предаването им между възлите. Това увеличава живота на сензорните възли.

- Качество на услугата

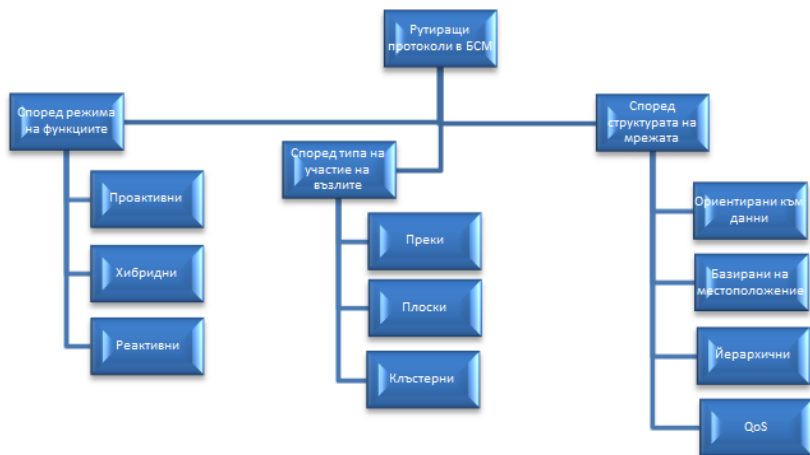
БСМ се използват за различни приложения. Някои приложения са доста критични и се нуждаят от надеждно обслужване навреме.

- Сигурност

Сигурната комуникация между възлите е много важна. Необходимо е да осигури поверителност и цялостност на данните.[3]

2. ГРУПИРАНЕ НА РУТИРАЩИТЕ ПРОТОКОЛИ В БСМ

Рутирането е метод за изпращане на данни между два възела използвайки съответни протоколи за рутиране, избирайки най-ефективния път, така че данните да достигнат до целевия възел. Мрежовият слой е отговорен за осъществяване на движението на постъпващите данни. Енергията на повечето от възлите-източници не може да осигури достигане на данните до местоназначението поради тяхното далечно разстояние и в такъв случай, междинни сензорни възли препращат пакетите. БСМ има някои ограничения, като например снабдяването с енергия, честотна лента и други. Редица протоколи за рутиране са проектирани за БСМ и те са фокусирани предимно върху потреблението на енергия. Дизайнът на протоколите е приспособен към конкретното приложение и вида на самата мрежата.



Фиг. 1. Групиране на рутиращи протоколи в БСМ

Рутиращите протоколи за БСМ са групирани на база режим на функциите, мрежова структура и типа на участие на сензорните възли. Протоколите от първата група се делят на активни, реактивни и хибридни. В режим на участие протоколите могат да бъдат плоски, преки (директни) и клъстерно базирани. Протоколите според структурата на мрежата могат да бъдат ориентирани към данните, базирани на местоположение, йерархични или QoS (качество на услугата) базирани.

2.1. Протоколи на база режим на функциите

В **проактивните** протоколи, рутиращата таблица се генерира от всеки възел и информацията за маршрутите на цялостна мрежа се актуализират периодично. Тъй като тази информация обикновено се пази в таблици те се наричат още table-driven протоколи. Необходимо е да съществува контрол на трафика, за да се запази таблицата за рутирание, актуална и надеждна по цялата мрежа.

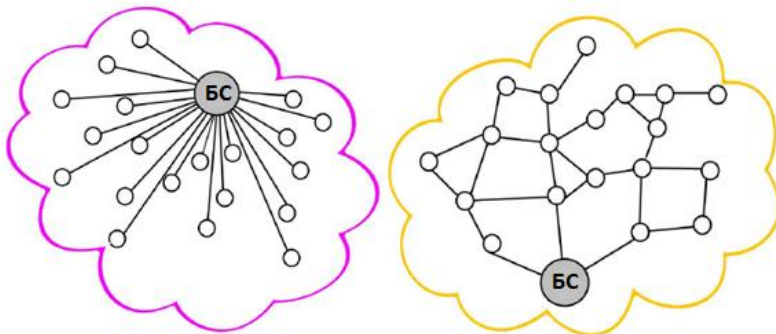
В **реактивните** протоколи за маршрутизация не се генерира рутираща таблица и откриването на маршрут се извършва в съответствие с изискванията. Маршрутите между възлите стават ясни при поискване. Възелът-източник задейства искане за откриване на маршрут през мрежата и чака отговор от

възела-получател. Понякога този процес отнема време и води до забавяне в мрежата. Веднъж открит, маршрута се пази докато е наличен и докато се използва. След определен период без да бъде използван той се отстранява и при следваща необходимост се търси наново. Предимството на проактивните маршрутизиращи протоколи е времето за използване на маршрута. Тъй като той е наличен може да се използва веднага, докато при реактивните е необходимо време за неговото откриване, което довежда до забавяне на предаването на първия пакет. Въпреки това проактивните протоколи са свързани с поддържане на таблици, т.е. необходимо е устройствата да имат по-голям капацитет от памет.

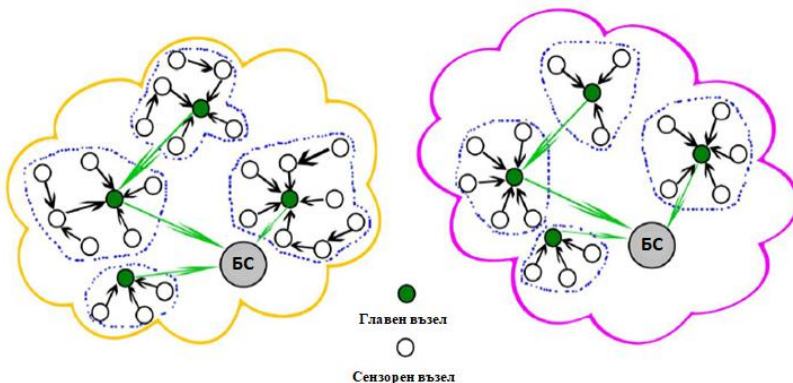
Третия тип протоколи, *хибридните* имат за цел да спечелят от предимствата на предходните два, използвайки както реактивен, така и проактивен подход. Хибридният подход намалява разходите за мрежата. Той първо изчислява всички маршрути и след това подобрява маршрути по време на рутирание. [4]

2.2. Според типа на участие на възлите

Втората класификация е според начина на взаимодействие на възлите и в тази категория, трите вида протоколи за маршрутизация са: *преки* (директни), *плоски* и *кълъстерни*. Прекият вид се основава на изпращане на цялата информация, директно до базовата станция, показано на фиг.2. При плоския тип възлите първоначално намират валиден маршрут до базовата станция, след което изпращат пакети до нея или до други възли чрез рутирание, като Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN), Direct Diffusion (DD) и Rumour Routing. При кълъстерният тип областта се разделя на няколко малки кълъстери, в които главния възел директно комуникира с базовата станция или първо изпраща данните си до съседен главен възел, който от своя страна ги препраща към БС, както е показано на фиг. 3. [5]



Фиг. 2. Пряка и плоска архитектура



Фиг. 3. Клъстерна архитектура multi-hops и single-hop

2.3. Протоколи базирани на структурата на мрежата

Протоколите ориентирани към данни зависят от етикет или наименование на необходимите данни и са отговорни за премахване на излишни предавания. В тази категория, базовата станция изпраща заявки, изискващи определени данни от възлите в мрежата и ако данните съответстват на заявката, то те ги изпращат обратно към нея. Примерните рутиращи протоколи базирани на заявки са Directed Diffusion (DD), COUGAR, Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN) и др.

Йерархично базираните протоколи извършват енергийно ефективно рутиране, избирайки по-високи енергийни възли за обработка и изпращане на информацията към базовата станция или към междинен главен възел. Тези видове протоколи извършват енергийно ефективна маршрутизация в БСМ и са най-подходящи за намаляване на размера на общите предавания на съобщения. Най-популярните протоколи за маршрутизация в тази категория са Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH), Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS), Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (TEEN) и Adaptive Periodic TEEN (APTEEN).

Протоколите базирани на местоположение, изискват информация за местоположението на сензорните възли обикновено достъпни от GPS (Global Positioning System) сигнали или силни радио сигнали. В тази категория, чрез протоколите за рутиране се изчислява разстоянието до съседен възел от силата на входящия сигнал. За да се пести енергия в мрежата възлите използват активно или спящо състояние, като при активно състояние възелът е „жив“, а в спящо състояние възела почива. Най-популярните протоколи в тази категория са Geographic Adaptive Fidelity (GAF) и Geographic and Energy Aware Routing (GEAR).

Протоколи базирани на качеството на услугата (QoS), при които рутирането се фокусира върху някой изисквания на мрежовия слой, като надеждност и латентност. Сензорната мрежа се основава на функцията за баланс и качество на мрежата, енергийна ефективност и качество на данните. Най-популярни протоколи, които се вписват в тази категория са SPEED (Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks) и Sequential Assignment Routing (SAR). [4]

В Таблица 1 са сравнени гореспоменатите рутиращи протоколи базирани на структурата на мрежата. Ясно се вижда предимствата и недостатъците на протоколите по отношение на мащабируемост, разход на енергия, мобилност, агрегиране на данни, локализация и др. [3, 9, 10, 11]

Таблица 1. Сравнение на рутиращи протоколи в БСМ

Рутингши протоколи	Класификация	Масщабире-мост	Рехоф на енергия	Мобилност	Базирани на заявки	Събирани на данни	Локализация	QoS	Базирани на Договаряне	Базирани на повече от един път
GAF	базиран на местоположението	добра	ограничен	ограничена	не	не	не	не	не	не
SPAN	базиран на местоположението	ограничена	ограничен	ограничена	не	не	не	не	да	не
GEAR	базиран на местоположението	ограничена	ограничен	ограничена	не	не	не	не	не	не
SPIN	ориентиран към данните	ограничена	ограничен	ограничена	да	да	не	не	да	да
Directed Diffusion	ориентиран към данните	ограничена	ограничен	ограничена	да	да	да	да	да	да
Rumor Routing	ориентиран към данните	добра	нисък	ограничена	да	да	не	не	не	не
COUGAR	ориентиран към данните	ограничена	ограничен	не	да	да	не	не	не	не
ACQUIRE	ориентиран към данните	ограничена	нисък	ограничена	да	да	не	не	не	не
VGA	йерархичен	добра	нисък	не	не	да	да	не	да	да
LEACH	йерархичен	добра	максимален	фиксирана БС	не	да	да	не	не	не
PEGASIS	йерархичен	добра	максимален	фиксирана БС	не	не	да	не	не	не
TEEN	йерархичен	добра	максимален	фиксирана БС	не	да	да	не	не	не
APTEEN	йерархичен	добра	максимален	фиксирана БС	не	да	да	не	не	не
SAR	QoS базирани	ограничена	висок	не	да	да	не	да	да	не
SPEED	QoS базирани	ограничена	нисък	не	да	не	не	да	не	не

3. КЛАСИФИКАЦИЯ СПОРЕД РАЗПОЛОЖЕНИЕТО НА БСМ

В зависимост от условията на разполагане на земята, под земята или във водата, има няколко вида безжични сензорни мрежи:

- **Сухоземни (Terrestrial):** При този вид сензорни мрежи, стотици до хиляди сензори са разположени произволно в дадена област. Този тип БСМ се използва главно в областта на мониторинга на околната среда и е предизвикателство за устойчивостта на мрежата по отношение на управлението на енергията.

- **Подземни (Underground):** Тези много специални сензорни възли са известни с високата си цена и необходимата логистика за поддръжка и предварително планирано разгръщане. Сензори са монтирани в почвата за селското стопанство или в стените на мина за наблюдение на условията в почвата. Въпреки това, в този

тип мрежа, има възел на повърхността, който има роля да препредава прихванатата информация от подземните възли към базовата станция.

- **Подводни (Underwater):** Този тип БСМ са все още голямо предизвикателство поради факта, че средата, в която са разположени възлите е враждебна и обикновено се използва за проучване. Тези възли са по-скъпи от наземни сензори, безжичната комуникация е акустична, честотната лента е ограничена, загубата на сигнала е повтарящ се, закъсненията и проблемите със синхронизацията са големи.

- **Мултимедийни (Multimedia):** Този тип БСМ позволява наблюдение на събития в реално време, като например изображения, видеоклипове и звук. Тези сензори са оборудвани с камери и микрофони. Отдава се значение на параметри, като добър трафик, което предполага висока консумация на енергия, обработка и компресия на данни, добро качество на услугата. Необходимо е предварително планиране за внедряване на тези сензори.

- **Мобилни (Mobile):** В този най-нов тип БСМ, възлите са способни на репозициониране и автономно реорганизиране на мрежата. След първоначалното внедряване, възлите се разпръскват, за да събират информация. Също така съществува и хибридна мрежа, която представлява комбинация от мобилни и фиксирани сензори. [5, 6]

4. КЛАСИФИКАЦИЯ СПОРЕД ПРИЛОЖЕНИЯТА

БСМ са привлекли вниманието на научната общност през последните години и се извършва огромно количество изследователска работа за решаване на практически и теоретични въпроси. Днес повечето разположени БСМ измерват температурата на скаларни физически явления, налягане, влажност или местоположение на обекти. Като цяло, повечето сензорни мрежи са толерантни към забавянията и приложения са ниска скорост на честотната лента. [7]

Наличието на евтини сензори и безжична комуникация допринасят за разработването на широк спектър от приложения

както в гражданската, така и във военната област. В Таблица 2 са обобщени приложенията на БСМ.

Таблица 2. Приложения на БСМ

Област	Предназначение	Приложения
Мониторинг на околната среда	Мониторинг на различни параметри или условия на околната среда	<p>Мониторинг на естествената среда: условия на диви животни или растения в диви местообитания, екологични параметри на местообитанията, като влажност, налягане, температура, и радиация.</p> <p>Мониторинг на качеството на въздуха или водата: хидрохимични полета, контрол на замърсяването на въздуха.</p> <p>Мониторинг на опасностите: места с биологични или химични опасности, например химически завод или бойно поле.</p> <p>Мониторинг при бедствия: откриване на горски пожари или наводнения, посока и магнитуд на земетресение, като предоставя оценка на безопасността на сградата.</p>
Военни приложения	Военно командване, комуникационен контрол и интелигентна система	<p>Мониторинг на бойното поле: наличие и проследяване на движението на войски и сухопътни превозни средства, което позволява непрекъснато наблюдение на вражески сили.</p> <p>Защита на обекта: защита на атомни централи, стратегически мостове, петролопроводи и газопроводи, комуникационни центрове, военни щабове.</p> <p>Интелигентно ръководене: да насочва безпилотни роботизирани автомобили, танкове, изстребители, подводници, ракети, или торпеда към мишените и да координира помежду си, за да постигнат по-ефективни атаки или защити.</p> <p>Дистанционно наблюдение: дистанционно наблюдение на ядрени, биологически и химически оръжия, откриване на потенциални терористични атаки, и разузнаване.</p>
Приложения за здравеопаз-	За да се наблюдават и проследяват	Поведенчески мониторинг: да се наблюдава поведението на пациента у дома с цел предупреждаване на лекарите за

ването	пациенти, като по този начин значително се облекчава недостига на медицински персонал и се намаляват разходите за здравеопазване	предоставяне на спешна медицинска помощ. Медицинско наблюдение: мониторинг на жизнените показатели, параметри на околната среда, както и географски местоположения за дългосрочно, неинвазивно и амбулаторно проследяване на болни или възрастни хора с незабавни предупреждения до здравни работници при спешен случай, незабавни съобщения до потребителите за техните настоящи здравни състояния и актуализации в реално време на медицинската документация на потребителя.
Контрол на индустриалния процес	За наблюдение на производствените процеси и състоянието на производственото оборудване за намаляване на разходите за поддръжка, увеличаване на живот на машината, както и безопасността на персонала	Мониторинг и контрол на производствените процеси: наблюдение и контрол на поточни линии, производствени предприятия и процеси. Мониторинг на състоянието: на тръбопроводи и машини.
Сигурност и надзор	За наблюдение на сгради и критични инсталации	Идентифициране и проследяване на нарушители: разполагане на сензори в сграда, летища, подземи, както и други критични инфраструктури, например атомни електроцентрали или комуникационни центрове за идентифициране и проследяване на нарушители с цел да осигури навременни сигнализираня и защита от атаки.
Домашни мрежи	За да се осигури по-удобна и интелигентна жизнена среда за хората	Интелигентен дом: smart хладилник свързан със smart печка или микровълнова печка може да се използва за изготвяне на меню, въз основа на съдържанието на хладилника и да изпрати съответните параметри за

		готвене на smart печката или микровълновата печка за определяне желаната температура и време за готвене. Възможна е и реализация на отдалечено наблюдение и контрол на съдържанието на телевизор, видео, DVD или CD плеъри. Отдалечено наблюдение: при него дистанционно да може да се отчетат полезни данни в дома, като вода, газ, електричество и след това да изпрати показанията на отдалечен център чрез безжична комуникация.
--	--	--

Съществуват редица предложени протоколи за рутиране в БСМ. Различните приложения изискват различни видове протоколи за рутиране, които имат различни степени на надеждност. [7, 8] Според конкретното приложение, протоколите са:

- Мониторинг на околната среда - SPAN, GAF, COUGAR, ACQUIR, DD

- Военна област – GAF
- Здравни грижа - GBR, SAR
- Контрол на индустриалния процес – SAR
- Домашни мрежи - GRER, APTTEN.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рутирането в БСМ е актуална област за изследване, която има за цел да удължи живота на мрежа.

В тази статия са представени предизвикателствата пред БСМ, групирани са рутиращите протоколи на база режим на функциите, мрежова структура и типа на участие на сензорните възли. Също така е представена класификацията според разположението и според приложенията на БСМ.

Въпреки, многообразието от рутиращи протоколи и приложения, все още има много предизвикателства, които трябва да бъдат решени в безжичните сензорни мрежи. Част от тях са свързани с изследване на ефективността на информационната защита в тези мрежи. [12]

ЛИТЕРАТУРА:

1. Al-Karaki, J., A. Kamal. Routing Techniques In Wireless Sensor Networks: A Survey. // IEEE Wireless Communications, vol. 11, 2004.
2. Patel, A., R. Jhaveri, K. Dangarwala. Wireless Sensor Network – Theoretical Findings and Applications.// International Journal of Computer Applications, vol. 63, 2013.
3. Anjali, Shikha, M. Sharma. Wireless Sensor Networks: Routing Protocols and Security Issues.// 5th ICCCNT, 2014.
4. Anwar, R., M. Bakhtiari, A. Zainal, K. Qureshi. A Survey of Wireless Sensor Network Security and Routing Techniques.// Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, vol. 9(11), 2015.
5. Ari, A., A. Gueroui, N. Labraoui, B. Yenke. Concepts And Evolution Of Research In The Field Of Wireless Sensor Networks.// IJCNC, vol.7, 2015.
6. Yu, X., P. Wu, W. Han, Z. Zhang, Z. Overview of wireless underground sensor networks for agriculture.// African Journal of Biotechnology, vol. 11(17), 2014.
7. Singh, S., M. Singh, D. Singh. Applications, Classifications, and Selections of Energy-Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks.// IJAEST, vol. 1, 2010.
8. Singh, S., M. Singh, D. Singh. Routing Protocols in Wireless Sensor Networks – A Survey.// IJCSES, vol.1, 2010.
9. Liu, X. A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks.// Sensors, vol. 12, 2012
10. Biradar, R., V. Patil, D. Sawant , D. Mudholkar . Classification And Comparison Of Routing Protocols In Wireless Sensor Networks.// UbiCC Journal, vol. 4, 2010.
11. Chauhan, P., T. Kumar. Power Optimization in Wireless Sensor Network: A Perspective.// IJETR, vol. 3, 2015.
12. Nachev, A., S. Zhelezov. Assessing the efficiency of information protection systems in the computer systems and networks.// Collection "Information technology and security", vol. 2(1), 2013.

Теодора Тихомирова Стоянова

ШУ „Епископ Константин Преславски“, гр. Шумен

E-mail: t.stoyanova@shu.bg

