

ОСОБЕНОСТИ НА ПРОТОКОЛА THREAD ПРИ SMART HOME

Цветелина Симеонова

PECULIARITIES OF THE THREAD PROTOCOL IN SMART HOME

Tsvetelina Simeonova

Резюме: Цел на работата е анализ на особености на протокола Thread при Smart Home. Получените резултати са свързани с открояване на общите и специфични характеристики на протокола Thread, имащи отношение към изграждането на Smart Home. В тази връзка са дадени типовете и ролите на устройствата на Thread. Анализирано е и ключовото предимство на протокола за работа в мрежа с топология "решетка" (mesh). Приносите на работата са анализираните особености на специфични протоколи при Smart Home.

Ключови думи: Smart Home, Thread, Mesh Topology

Abstract: The purpose of the work is to analyse the features of the Thread protocol in Smart Home. The results obtained are related to highlighting the general and specific characteristics of the Thread protocol, relevant to the construction of Smart Home. In this regard, the types and roles of Thread devices are given. The key advantage of the protocol for working in a network with a "mesh" topology is also analysed. The contributions of the work are the analysed features of specific protocols in Smart Home.

Keywords: Smart Home, Thread, Mesh Topology.

1. Въведение

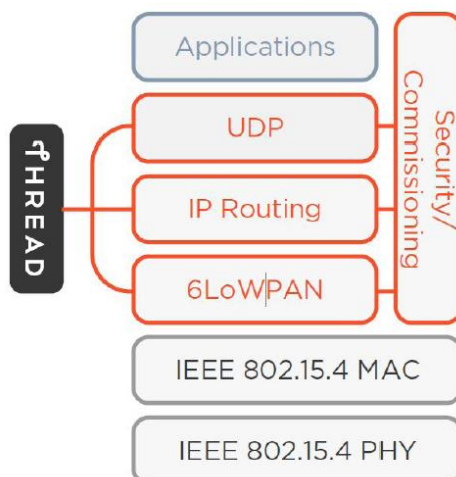
Интернет на нещата IoT (Internet of Things) намира приложение в много домейни и има за цел да трансформира живота на хората, например при интелигентен дом (Smart Home) чрез домашна автоматизация.

В интелигентния дом целта е мрежата от свързани уреди да направи живота по-удобен за потребителите. Мрежата включва осветление, климатизация, системи за сигурност и развлечения и т.н., всички работещи заедно. IoT има за цел да подобри ефективността, функционалността, автоматизацията и безопасността [1, 2, 3, 4, 5].

В този контекст интерес представляват аспектите и особеностите на протокола Thread, произтичащи от основните характеристики и компоненти, както и функционалността на мрежата Thread при Smart Home.

2. Основни характеристики

Спецификацията на протокола Thread представлява отворен стандарт за надеждна, рентабилна и сигурна, безжична IPv6 комуникация с ниска мощност (фиг. 1) [6]. Протоколът е проектиран специално за свързани домашни и търговски приложения, базирана на IP мрежа в която различни приложни слоеве могат да се използват в една и съща мрежа.



Фиг. 1. Спецификация на Thread [6].

2.1. Общи характеристики на Thread

- **Проста мрежова инсталация, стартиране и работа:** Опростените протоколи за формиране, присъединяване на устройства и поддържане на Thread мрежите позволяват на системите да се самоконфигурират, динамично оптимизират и самовъзстановяват.
- **Сигурност:** Устройствата могат да се присъединят към Thread мрежа само ако са упълномощени, а цялата мрежова комуникация е криптирана и защитена.
- **Малки и големи мрежи:** Домашните мрежи варират от няколко устройства до стотици устройства, комуникиращи безпроблемно. Търговските мрежи могат да хостват хиляди устройства едновременно. Мрежовият слой Thread е проектиран да оптимизира работата на мрежата въз основа на очакваната употреба.
- **Обхват:** Типичните устройства, свързани по топология на мрежата "решетка" (mesh), осигуряват повече от достатъчен обхват за покриване на нормален дом. Изграждането на още по-големи IPv6 подмрежи се осигурява посредством гранични рутери BBR (Backbone Border Routers), които са съставени от Thread устройства, обединявайки множество Thread мрежи в една IPv6 подмрежа. На физическия слой се използва радиотехнология с разширен спектър (Spread spectrum technology), за да се осигури добра устойчивост на смущения.
- **Няма единична точка на повреда:** Мрежите Thread се конфигурират автоматично и се самовъзстановяват, така че да продължат да осигуряват сигурна и надеждна комуникация, дори ако отделни устройства се повредят.
- **Ниска мощност:** Домашните устройства могат да работят няколко години с малки батерии, използвайки подходящи работни цикли.
- **Изграден върху отворени и доказани стандарти:** Спецификацията Thread използва добре дефинирани стандарти (на IEEE и IETF) като основа за стабилен протокол.
- **Независимост от приложния слой:** Thread е решение на мрежовия слой, базирано на IPv6. Всеки приложен слой, който може да работи с IPv6, може да работи с Thread, а множество приложни слоеве могат да споделят една и съща мрежа.

2.2. Стандарт IEEE 802.15.4 PHY/MAC

Спецификацията на Thread използва IEEE 802.15.4 за физически слой PHY (Physical) и за слой за управление на достъпа до медиите MAC (Media Access Control), работещи при 250 kbps в честотната лента 2,4 GHz за комуникация на канален слой (link layer). За Thread се използват версиите на спецификацията IEEE 802.15.4-2006 и IEEE 802.15.4-2015.

При IEEE 802.15.4 се използва като основа на спецификацията на Thread, осигурявайки надеждно предаване на съобщения между отделни Thread устройства на канален слой и се използва механизъм CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance), който позволява на множество устройства Thread да използват споделената честотна лента от 2,4 GHz, като преди предаване изчакват свободен канал. IEEE 802.15.4 използва потвърждения на ниво връзка и повторни опити, позволявайки надеждно предаване на отделните съобщения.

За да се гарантира сигурна комуникация са осигурени криптиране, удостоверяване и защита при атаки с възпроизвеждане (replay attacks). За устройства с ниска мощност се дефинират рутинни процедури за извличане на съобщения, буферирани от винаги включени възли. Стандартът IEEE 802.15.4 представлява широко разпространен, добре тестван протокол, върху който е изградена спецификацията на Thread, за да осигури надеждна комуникация "от край до край".

2.3. Специфика на надеждността на мрежата Thread

В система, съставена от Thread устройства, нито едно от тези устройства не представлява единична точка на отказ. Въпреки, че в системата има устройства, които изпълняват специални функции, мрежата Thread работи така, че те могат да бъдат заменени автоматично, без да се засяга текущата комуникация в мрежата. Например, крайно устройство с режим на заспиване SED (Sleepy End Device) изисква родител за комуникация, така че този родител по принцип може да представлява единична точка на отказ, обаче SED може и ще избере друг родител, ако текущият родител не е наличен, така че тази повреда не се вижда от потребителя.

Системата е проектирана да няма единична точка на отказ, но при определени топологии може да има отделни устройства, които нямат възможности за резервиране. Например, в система с един граничен рутер, ако граничният рутер загуби захранване, може да няма начин за превключване към алтернативен.

От друга страна, ролята на "лидер", изпълняващ определени функции в Thread мрежа, се поема от един единствен рутер. От този лидер се изисква да взема решения в мрежата. Например лидерът задава адреси на рутери и позволява нови заявки за рутери. Ролята на лидер се избира динамично и ако лидерът откаже, друг рутер поема ролята. При такава автономна работа се гарантира, че няма единична точка на отказ.

3. Типове и роли на Thread устройства

Има два типа Thread устройства, дефинирани от спецификацията:

- пълно функционално Thread устройство FTD (Full Thread Device) и
- минимално функционално Thread устройство MTD (Minimal Thread Device).

MTD има най-ниските изисквания към хардуера на устройството (напр. размер на паметта) и консумация на енергия, докато FTD е най-гъвкав в ролите, които може да играе в Thread мрежа.

3.1. Пълно функционални Thread устройства

- **Пълно функционални маршрутизиращи устройства Thread (Routing Full Thread Devices)**

- **Рутер (Router):** Thread рутера предоставя услуги за маршрутизиране на Thread устройства в мрежата. Рутерите също така предоставят услуги за присъединяване и

сигурност за устройства, които се опитват да се присъединят към мрежата. Рутерите не са проектирани да заспват. Рутерите могат да понижат своята функционалност и да станат "допустими за рутер крайни устройства" REEDs (Router-eligible End Devices).

- **Лидер (Leader):** Лидер е допълнителна и изборна роля на рутер в Thread мрежа. Лидерът взема определени решения в Thread мрежата, например разрешаване на крайни устройства REEDs да се надграждат до рутери. Ако лидерът на Thread мрежа откаже, друг рутер ще бъде динамично избран за лидер. Всички рутери имат необходимите мрежови данни на Thread, за да поемат незабавно тази роля.

- **Граничен рутер (Border Router):** Граничният рутер е роля на Thread устройство, която осигурява свързаност от Thread мрежа към съседни мрежи с други протоколи, например **Wi-Fi** или **Ethernet**. Граничните рутери предоставят услуги за устройства в рамките на Thread мрежата. В една Thread мрежа може да има няколко гранични рутера. Всяко FTD (Full Thread Devices) може да предоставя услуги на граничен рутер, дори ако устройството не функционира като рутер в Thread мрежата.

- **Пълно-функционални устройства Thread без маршрутизиране (Non-Routing Full Thread Devices)**

- **Крайно устройство, подходящо за рутер REED (Router-Eligible End Device):** Крайните устройства REED имат способността да станат рутери, но поради мрежовата топология или условия не действат като рутери. Thread мрежата менажира REEDs, като може да ги превърне в рутери чрез Лидера, без намеса на потребителя.

- **Пълно-функционално крайно устройство FED (Full End Device):** Крайните устройства FEDs са подобни на REEDs, но нямат способността и капацитета да бъдат рутери, т.е. не могат да станат устройство за маршрутизиране в Thread мрежа (Routing Thread Device) или лидер.

3.2. Минимално функционални Thread устройства

- **Устройства Thread с минимална функционалност без способност за маршрутизиране (Non-Routing Minimal Thread Devices)**

- **Минимално крайно устройство MED (Minimal End Device):** Крайните устройства MEDs (Minimal End Devices) комуникират само чрез своя родителски рутер (Parent Router) и не могат да препращат съобщения за други устройства. Радиото на крайно устройство MED е включено, дори когато е неактивен (idle).

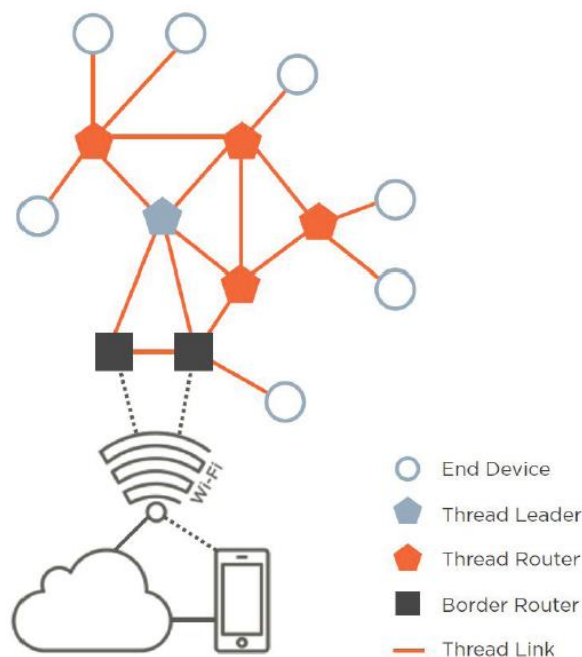
- **Крайно устройство с режим на заспиване SED (Sleepy End Device):** Крайните устройства SEDs (Sleepy End Devices) комуникират само чрез своя родителски рутер (Parent Router) и не могат да препращат съобщения за други устройства. Радиото на крайно устройство SED е неактивно по време на периоди на неактивност (idle) и периодично се активира, за да комуникира със своя родител.

- **Синхронизирано крайно устройство с режим на заспиване SSED (Synchronized Sleepy End Device):** Крайните устройства SSED (Synchronized Sleepy End Device) комуникират само чрез своя родителски рутер (Parent Router) и не могат да препращат съобщения за други устройства. Радиото на едно SSED е неактивно по време на периоди на неактивност (idle) и се активира периодично на планирани интервали, за да слуша за съобщения от своя родител.

- **Bluetooth крайно устройство BED (Bluetooth End Device):** Крайните устройства BEDs (Bluetooth End Devices) комуникират само чрез своя родителски рутер (Parent Router), който е Bluetooth Low Energy мостов рутер (Bluetooth LE Bridge Router) и не могат да препращат съобщения за други устройства. За разлика от другите Thread устройства, тези устройства комуникират посредством връзка Bluetooth LE (Bluetooth Low Energy Link), а не посредством IEEE 802.15.4.

4. Топология на мрежата

Съгласно спецификацията на Thread, действителната топология зависи от броя на рутерите в Thread мрежа. На фиг. 2 е илюстрирана основната топология на Thread мрежа и типовете устройства. Ако има само един рутер, тогава се формира основна топология "звезда" с един рутер. Ако има повече от един рутер, автоматично се формира топология "решетка" (mesh) между всички рутери в Thread мрежата.



Фиг. 2. Примерна топология на Thread мрежа и типове устройства [6].

4.1. Мрежа с топология "решетка" (mesh)

Мрежа с топология "решетка" (mesh) представлява съвкупност от възли (устройства), които използват общ комуникационен протокол, за да обменят данни помежду си, като тези възли действат като ретранслатори (repeaters), които препредават сигнала от едно устройство към следващото, вместо всички да комуникират само с централния рутер. Това означава, че с всяко ново добавено устройство, мрежата увеличава своя обхват и устойчивост, преодолявайки ограниченията, свързани с дистанцията. Възлите функционират координирано, за да осигурят равномерно мрежово покритие в широка област, нещо, което традиционната домашна мрежа с един рутер не може да постигне.

Възлите в мрежата с топология "решетка" са малки радиопредаватели, които функционират на същия принцип, на който работи обикновения домашен Wi-Fi рутер с известните стандарти от IEEE 802.11a, 802.11b и 802.11g, за да свързват безжичните устройства чрез същия Wi-Fi стандарт, който почти всяка съвременна електроника притежава.

Резултатът е единна мрежа с много по-добро покритие от стандартен самостоятелен рутер. Мрежата с топология "решетка" може да предостави стабилен достъп до интернет

навсякъде в обхвата на възлите – например в триетажна къща или дори в рамките на няколко съседни жилищни блока.

При функциониране на мрежата с топология "решетка" възлите се управляват от софтуер, който определя взаимодействията в по-голяма и сложно изградена мрежа. Информацията преминава от точка А към точка Б, като трансферът става безжично от един мрежови възел към следващия, докато достигне финалната точка. Възлите използват „динамично маршрутизиране“ и автоматично избират най-бързия, безопасен и надежден маршрут на информацията.

Най-голямото предимство на Mesh безжичните мрежи – в сравнение с кабелните LAN връзки или фиксираните до едно домакинство WiFi мрежи е, че те осигуряват много по-голямо покритие, но най-вече, че те са наистина безжични. Повечето традиционни „безжични точки“ – тези у дома, на обществени места, в институциите и парковете, трябва да бъдат свързани чрез широколентов интернет достъп към глобалната мрежа, за да работят. За големите безжични мрежи е необходимо Ethernet кабелите да бъдат полагани в тавани и стени в сградите при изграждане.

4.2. Предимства и недостатъци при мрежа с топология "решетка"

Безжичните Mesh мрежи са удобни там, където липсва възможност за изграждане на Ethernet достъп до всяка безжична точка, идеално приложимо за концертни зали, събития на открито, складове и транспортни съоръжения, както и за извънградски райони с по-малко население, където изграждането на LAN достъп до всяко едно домакинство, би било нерентабилно.

Mesh мрежите са идеално средство за реализиране на Интернет на нещата IoT (Internet of Things), тъй като дават възможност за гъвкаво и надеждно покриване на големи терени, с високи скорости и липса на необходимост от физическо свързване с Интернет мрежата на всяко излъчващо устройство (възел). Също така Mesh мрежите са полезни при мрежови конфигурации с непряка видимост NLoS (Non-Line-of-Sight), при които безжичните сигнали могат да бъдат прекъсвани или заглушавани. Ако Mesh мрежата е изградена от десетки или стотици други възли, мрежата ще се саморегулира, за да осигури достатъчно добър сигнал. Често Mesh системите от висок клас използват изкуствен интелект и машинно обучение, за да анализират моделите на използване на мрежата и автоматично да оптимизират настройките за най-добра производителност. Те могат да идентифицират и блокират потенциални заплахи за сигурността и да адаптират настройките за качество на обслужване QoS според проучените навици.

Съвременните Mesh системи все по-често включват "интелигентни хъбове" за технологии, като **Zigbee**, **Z-Wave** или **Matter** на "умен дом", превръщайки мрежовите възли в централни контролери за цялата домашна автоматизация, което опростява управлението на смарт устройствата.

Предимства при мрежа с топология "решетка"

Основните предимства при мрежа с топология "решетка" (Mesh мрежа) са:

- **По-добро покритие:** Едно от ключовите предимства на Mesh мрежите е способността им да покриват значително по-големи площи. Това е особено ценно за многоетажни жилища или просторни домове. С Mesh система няма ограничение от обхвата на един-единствен рутер. Вместо това, възлите може да се разположат стратегически и да се елиминират "мъртвите зони", където сигналът не достига.

- **По-висока надеждност:** От гледна точка на надеждността Mesh мрежите притежават съществено предимство пред конфигурация с един рутер, тъй като, ако рутерът има проблем, цялата домашна мрежа остава без връзка. Mesh системата се

"самовъзстановява", тъй като ако един възел откаже, останалите продължават да функционират, осигурявайки непрекъсната свързаност. Системата динамично пренасочва трафика през работещите възли, минимизирайки въздействието на евентуална повреда.

- **Равномерна скорост на връзката:** Независимо от местоположението в дома, дадено устройство ще се свърже автоматично с най-близкия и най-силен възел, осигурявайки оптимална скорост на връзката. Тъй като Mesh мрежата използва единно име на безжичната мрежа (SSID), преходът между отделните възли е напълно безпроблемен и автоматичен. Мобилните устройства "превключват" от един възел на друг без прекъсване на връзката.

- **Лесна разширяемост:** За разлика от традиционните мрежови решения, Mesh системите са изключително лесни за разширяване. За да се увеличи обхвата, просто се добавя нов възел към съществуващата мрежа. Mesh мрежите се „самоконфигурират“, т.е. мрежата автоматично включва нов възел в съществуващата инфраструктура, без да се налага намеса на мрежов администратор, което намалява нуждата от човешка поддръжка, съответно и разхода и цената на мрежите.

- **Централизирано управление:** Повечето съвременни Mesh системи се управляват чрез интуитивни мобилни приложения, които използват централизирано управление на цялата мрежа. Може лесно да се наблюдават свързаните устройства, да се проверява скоростта на връзката, да се задава приоритет на определени устройства или приложения, също и да се настрои родителски контрол.

Недостатъци при мрежа с топология "решетка"

Mesh системите имат и някои ограничения в сравнение с традиционните рутери:

- **По-висока цена:** Най-значимият недостатък на Mesh системите е тяхната по-висока начална цена. Пълен комплект от два или три възела обикновено струва значително повече от един високопроизводителен рутер. Това означава по-голяма първоначална инвестиция, въпреки че в дългосрочен план ползите от по-доброто покритие и надеждност могат да оправдаят разходите.

- **Ограничени разширени функции:** При някои Mesh системи се "жертват" част от по-разширените функции, които се поддържат при специализираните рутери. Потребителският интерфейс е опростен и ориентиран към основните задачи, което може да ограничи достъпа до по-сложни настройки, като конфигурация на детайлна демилитаризирана зона (DMZ), подробни настройки на качеството на обслужване QoS (Quality of Service) или разширени опции за маршрутизация и филтриране.

- **Потенциално по-ниска скорост при препредаване:** При някои по-базови Mesh системи скоростта на връзката може да намалее, когато данните преминават през множество възли. Това се дължи на факта, че всеки препредал възел използва част от наличната честотна лента за комуникация с другите възли. По-новите и по-скъпи Mesh системи решават този проблем чрез използване на "backhaul" канали с отделени честотни ленти специално за комуникация между възлите.

- **Слаба оптимизация за геймърски нужди:** За "хардкор геймърите", които се нуждаят от най-ниска възможна латентност (забавяне), специализираните гейминг рутери често предлагат по-добра производителност със своите оптимизирани алгоритми за QoS, приоритизирайки геймърския трафик над другите типове данни.

5. Особености на специфични протоколи при Smart Home

На базата на ключови характеристики отразяващи основните аспекти при функционирането и производителността в мрежата (свързани с широко използваните специфични протоколи приложими при Smart Home), е направено сравнение на тези протоколи (табл. 1) [7, 8, 9, 10].

Табл. 1. Сравнение на специфични протоколи приложими при Smart Home

Характеристики / Протоколи	Wi-Fi	BLE	802.15.4	Thread	ZigBee	ZigBee SE
Ниска консумация на енергия		++	+	++	+	+
Мрежа "решетка" (Mesh)				+	+	+
Без единична точка на отказ				+		
Отворен стандарт за оперативна съвместимост	+	+	+	+	+	+
Дефиниран приложен слой					+	+
Сигурност	++		+	++	+	++
Поддръжка на IPv6	+			+		
Размер на мрежата	+			+	+	+
Лесно осигуряване	++	++	+	++		

Вижда се, че протоколите имат различни особености по отношение на основните характеристики, съществени за тяхната приложимост.

По отношение на "Ниска консумация на енергия" водещи са протоколите BLE и Thread. Поддръжка на мрежа с топология "решетка" осигуряват протоколите Thread, ZigBee и ZigBee SE. Предимство на протокола Thread е характерната само за него висока надеждност, т.е. "Без единична точка на отказ". От друга страна, всички от разглежданите протоколи поддържат "Отворен стандарт за оперативна съвместимост".

"Дефиниран приложен слой" има само при протоколите ZigBee и ZigBee SE. Това се явява предимство за протокола Thread, тъй като не е обвързан с конкретен приложен протокол.

Характеристиката "Сигурност" е широко застъпена (без BLE), като има акцент при протоколите Wi-Fi (при подобрената версия), Thread и ZigBee SE. Характеристика "Поддръжка на IPv6" има само при протоколите Wi-Fi и Thread. Характеристиката "Размер на мрежата" се поддържа от протоколите, които поддържат мрежови слой. Характеристиката "Лесно осигуряване" се поддържа в различна степен от всички разглеждани протоколи, без ZigBee и ZigBee SE.

При направения преглед се открояват комплексните предимства на протокола Thread за приложение при Smart Home.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разглежданите особености на протокола Thread с приложение при Smart Home се базират на неговите основни характеристики, включващи общите и специфични характеристики на Thread. В тази връзка са дадени и групирани и различните типове и роли на устройствата на Thread.

Разгледана е същността, предимствата и недостатъците на топология "решетка" (mesh).

Приносният момент, на базата на ключови характеристики отразяващи основните аспекти при функционирането и производителността в мрежата свързани с широко използваните специфични протоколи приложими при Smart Home, като е направено сравнение на тези

протоколи. При направения преглед и анализ се открояват комплексните предимства на протокола Thread за приложение при Smart Home.

ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ REFERENCES

- [1] ПАСАРЕЛСКИ, Росен и Тереза СТЕФАНОВА. Методи за преход и внедряване на IPv6. *Управление и образование* [онлайн]. 2012, год. VIII (4), с. 203-211 [прегледан 05.06.2026]. ISSN 1312-6121. Достъпен на: https://www.conference-burgas.com/maevolumes/vol8/BOOK%204/b4_31.pdf [PASARELSKI, Rosen i Tereza STEFANOVA. Metodi za prehod i vnedryavane na IPv6. *Upravlenie i obrazovanie* [onlayn]. 2012, god. VIII (4), s. 203-211 [pregledan 05.06.2026]. ISSN 1312-6121. Dostapen na: https://www.conference-burgas.com/maevolumes/vol8/BOOK%204/b4_31.pdf]
- [2] MILOVANOV, Nikolay. Case study: LoRa/LoRaWAN as a suitable LPWAN choice for pressure and flow monitoring in Bulgarian water utility sector. In: *CompSysTech '24: International Conference on Computer Systems and Technologies* [online]. 2024, pp. 173-179 [viewed 05.06.2026]. ISBN 979-8-4007-1684-3. Available from: <https://doi.org/10.1145/3674912.3674945>
- [3] ПЕТРОВ, Георги. *Развитие на Интернет и отворените системи*. Ч. 1. София: Авангард Прима, 2017. ISBN 978-619-160-834-8. [PETROV, Georgi. *Razvitie na Internet i otvorenite sistemi*. Ch. 1. Sofia: Avangard Prima, 2017. ISBN 978-619-160-834-8.]
- [4] ПАСАРЕЛСКИ, Росен и Теодора ПАСАРЕЛСКА. Виртуализация и сигурност в петото поколение 5G мобилни клетъчни мрежи. *Сборник статии от научна конференция „Знание, Наука, Иновации, Технологии“* [онлайн]. 2023, год. 2(1), с. 374-387 [прегледан 03.06.2026]. ISSN 2815-3480 . CEEOL. Достъпен на: <https://www.cceol.com/> [PASARELSKI, Rosen i Teodora PASARELSKA. Virtualizatsia i sigurnost v petoto pokolenie 5G mobilni kletachni mrezhi. *Sbornik statii ot nauchna konferentsia „Znanie, Nauka, Inovatsii, Tehnologii“* [onlayn]. 2023, god. 2(1), s. 374-387 [pregledan 03.06.2026]. ISSN 2815-3480 . CEEOL. Dostapen na: <https://www.cceol.com/>]
- [5] ПАСАРЕЛСКИ, Росен и Теодора ПАСАРЕЛСКА. Изследване на мрежовите функции и референтната архитектура на 5G мобилни системи. *Сборник статии от научна конференция „Знание, Наука, Иновации, Технологии“* [онлайн]. 2023, год. 2(1), с. 388-400 [прегледан 03.06.2026]. ISSN 2815-3480 . CEEOL. Достъпен на: <https://www.cceol.com/> [PASARELSKI, Rosen i Teodora PASARELSKA. Izsledvane na mrezhovite funksii i referentnata arhitektura na 5G mobilni sistemi. *Sbornik statii ot nauchna konferentsia „Znanie, Nauka, Inovatsii, Tehnologii“* [onlayn]. 2023, god. 2(1), s. 388-400 [pregledan 03.06.2026]. ISSN 2815-3480 . CEEOL. Dostapen na: <https://www.cceol.com/>]
- [6] Thread Network Fundamentals. *Thread Group* [online]. 2020 [viewed 05.06.2026]. Available from: https://www.threadgroup.org/Portals/0/documents/support/Thread%20Network%20Fundamentals_v3.pdf
- [7] Thread Technical Brief. Thread Overview for Industrial and Enterprise IoT Applications. *Digi* [online]. [viewed 05.06.2026]. Available from: https://www.mouser.com/pdfdocs/Digi_thread_technical_brief.pdf?srsId=AfmBOopsSqUR00CV-KloKxuqgYktY75PlqkYsoSuu29_sj_0XgEeQwUF
- [8] СИМЕОНОВА, Цветелина. *Развитие на перспективните технологии в „Интернет на свързаните неща“ IoT (Internet of Things)*. София: Асеневи, 2021. ISBN 978-619-7586-25-1. [SIMEONOVA, Tsvetelina. *Razvitie na perspektivnite tehnologii v „Internet na svarzanite neshta“ IoT (Internet of Things)*. Sofia: Asenevtsi, 2021. ISBN 978-619-7586-25-1.]
- [9] KASSEL, Gabe, Nathan DYCK, Jonathan HUI. Thread Border Router. *Thread Group* [online]. July 2022 [viewed 05.06.2026]. Available from: https://www.threadgroup.org/Portals/0/documents/support/ThreadBorderRouterWhitePaper_07192022_4001_1.pdf
- [10] Thread and Matter in Smart Buildings: Technical Report. White Paper. *Thread Group* [online]. 2022 [viewed 05.06.2026]. Available from: <https://www.threadgroup.org/>

Информация за автора:

гл. ас. д-р инж. Цветелина Симеонова, НБУ, департамент "Телекомуникации", ул. Монтевидео № 21, Тел.: 02 8110609, tsvsimeonova@nbu.bg

Contacts:

Assist. Prof. Tsvetelina Simeonova, PhD, New Bulgarian University, Department "Telecommunications", Tel.: 02 8110609, e-mail: tsvsimeonova@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 10.11.2024

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2025