

СИМУЛАТОР НА ENOCEAN ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI)

Георги Генов*, Айдын Хъкъ

Технически университет – Варна, ул. Студентска 1, Варна, България

**кореспондиращ автор: ggenev02@gmail.com*

ENOCEAN TECHNOLOGY SIMULATOR FOR RESEARCHING RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI)

Georgi Genev*, Aydan Haka

Technical University of Varna, Studentska 1 str., Varna, Bulgaria

**Corresponding author: ggenev02@gmail.com*

Abstract

Nowadays, there is a rising interest in wireless technologies. One field of wireless technologies is the Internet of Things, and even more interest is gathered by technologies that are energy independent, such as EnOcean technology. Successful connectivity is a crucial part of wireless communications, where the Received Signal Strength Indicator (RSSI) is used to validate the strength of the signal. This paper proposes a simulation product that provides an opportunity to add and connect devices in an EnOcean network, with a module that calculates the RSSI between devices and can generate RSSI diagrams for one or multiple sensors connected to a single gateway.

Keywords: IoT; EnOcean; Simulation; RSSI

ВЪВЕДЕНИЕ

В днешно време безжичните комуникации, започват да се превръщат в част от всекидневието на хората по целия свят, поради многообразните им приложения и ползи.

Интернет на обектите (Internet of Things – IoT) като част от безжичните комуникации и технологии започва да се среща все по-често в нови сгради и различни електроуреди, използвани в домакинството, а дори и в автомобилите.

Интернет на обектите представлява мрежа от физически устройства, притежаващи софтуер, който осигурява обмен на информация между различни устрой-

ства като сензори, маршрутизатори, контролери и други [1].

Устройствата от тази област на безжичните комуникации обикновено се използват за автоматизиране на различни процеси или за улесняване на крайния потребител. Интернет на обектите намира все по-широко приложение в сфери като здравеопазване, където в медицинската апаратура при настъпване на дадено събитие спешно се информират лекарите за проблем със здравословното състояние на пациента, както и в строителството на сгради, например чрез поставяне на сензор за движение, който комуникира с устройство, задействащо

осветително тяло. Това са само част от многото приложения на IoT, които доказват, че този тип технологии се разпространяват все по-широко [1].

В така наречените „умни градове“ (Smart Cities) и „умни домове“ (Smart Homes) тези иновации се срещат все по-често, но тук възниква проблем при инсталирането на устройствата. Сензорите в много практически случаи са голям брой и са разположени на големи площи, което е проблем при сензори, които са енергозависими от електрическата мрежа и трябва да бъдат свързани, за да функционират коректно [2].

Това води до допълнителни разходи, време и усилия по време на инсталацията на такива системи. Проблем може да възникне и когато вече инсталирани сензори трябва да променят своето местоположение, което отново изисква допълнително време и усилия при реалокването им.

Решение на тези проблеми предлага технологията EnOcean, която разработва енергонезависими сензори, които не е необходимо да бъдат свързани към електрическата мрежа, както и собствени протоколи за комуникация между устройствата [2].

Сензорите черпят своята енергия от околната среда, като конвертират различни видове енергия – например сензори, захранвани от слънчевата светлина, съдържащи малък соларен панел, който събира и съхранява енергия за бъдеща употреба. Друг вид устройство с подобен принцип е ключ за лампа, който при натискане преобразува кинетичната енергия в електрическа, с която се изпраща съобщение към друго устройство, което включва осветлението [2].

Друго предимство на тази технология е, че работи на изключително ниски честоти – например 868.3 MHz (честотата, използвана от технологията в Европа), което гарантира ниска консумация на енергия [2, 3].

Част от потребителите се опасяват да използват подобен тип технологии, зара-

ди възможни проблеми със сигурността на лични данни и възможни хакерски атаки. През последните години този тип технологии се стремят да увеличат сигурността на личните данни, които се пренасят по мрежата. Открит е недостатък в комуникационните протоколи на EnOcean и се предлага нов протокол, наречен EnOcean-A. EnOcean е защитен от атаки от типа replay attack и tamper attack, тъй като използва верификация. До този извод се стига чрез използване на мрежи на Петри, както и на модела на Долев-Йао за атака. Недостатъкът на съществуващия протокол на EnOcean е, че информацията за предаващото устройство не е анонимна, което позволява извършването на атака тип key compromise impersonation attack. В протокол EnOcean-A се предлага използването на отделен сървър, който разпределя комуникационните ключове. Това би елиминирало възможността от атака тип KCI и би осигурило анонимност и непроследимост на устройствата и данните в мрежата [4].

Максималният обем данни според EnOcean Radio Protocol 1 (ERP1) е 125 Kbit/s, а максималният размер на една подтелеграма (предаваното съобщение от сензора към рутера) е 21 байта [3].

Този тип устройства премахват нуждата от допълнително време и усилия при инсталация, както и улесняват преместването им, ако това се наложи в бъдеще.

Всичко това би било възможно, ако устройствата имат добра свързаност. По стандарт обхватът на устройствата е до 30 метра в затворени помещения, като е допустимо добавяне на до два повторителя за увеличаване на обхвата до общо 90 метра [2].

Освен разстоянието между устройствата, важен параметър е и Received Signal Strength Indicator (RSSI) – технически индикатор, който показва дали две устройства могат да осъществят успешна връзка. Ако стойността на индикатора е

под допустимото, устройствата няма да могат да комуникират. Не е известен допустим праг за RSSI, който да е валиден за всички устройства, вместо това може да се използва параметър чувствителност на получателя (receiver sensitivity), който е описан в техническите спецификации на устройството. [5, 6].

В този доклад е представен модул за изследване на RSSI при EnOcean мрежи, който е част от симулатор GenOSim. Целта на този модул е да пресъздаде изчисляването на RSSI и да генерира графики показващи стойностите на RSSI за избрани от потребителя устройства на различни разстояния от маршрутизатора, за да може да послужи за бъдещи изследвания на технологията.

RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI)

Стойността на RSSI се използва за проверка на силата на получения сигнал в устройството получател на телеграмата. При технологията EnOcean, за да може две устройства да комуникират тяхната връзка е нужно да има RSSI над определена стойност. RSSI се измерва в dBm (децибел за миливат). Тъй като не е известна конкретна стойност, която да е обща за всички устройства на EnOcean, може да се ползва receiver sensitivity параметърът на устройството получател. Дадено устройство съхранява стойността на параметъра receiver sensitivity в паметта си и при получаване на телеграма, стойността на RSSI на получената телеграма се измерва и сравнява със стойността в паметта на устройството, ако сигналът е по-силен, тогава комуникация може да се осъществи. Параметърът receiver sensitivity се намира в техническите спецификации на устройствата и често срещана стойност е -96dBm. Пример за това е устройството EnOcean USB300. EnOcean препоръчва при инсталация на устройствата да има запас от около 10% относно RSSI, като се инсталират устройствата на места и разстояния, където стойността за RSSI няма да е

на прага на допустимото, а ще бъде по-голяма, за да се гарантира успешното предаване на телеграми между устройствата. [6, 7].

Известни са различни начини за изчисляване на RSSI, които се използват в различни приложения и ситуации. Изчисляването на RSSI в симулатора се извършва, както е посочено (1), където P_t е мощността на предаване на предаващото устройство, измервана в dBW, G_t е параметър, изразяващ насочеността на антената на предаващото устройство, измервана в dB, G_r е същият параметър, но за устройството, което получава съобщението, а L_{fsp} е параметър, указващ загубите на сигнала по цялото трасе от предаващото до получаващото устройство, като се вземат предвид атмосферата, дъждът и поляризацията. L_{fsp} , при използвани мерни единици MHz за честота и метри за разстояние, може да се изчисли, както е посочено в (2), като f_{MHz} е честотата, измервана в MHz, а d е разстоянието между устройствата в метри. Чрез тази формула се вземат предвид мощността на предаване на предаващото устройство, насочеността на двете антени и загубите на сигнала по трасето. Тази формула не покрива отклонения в крайния резултат, породени от обекти като стени, врати, мебели или други мрежови устройства [8, 9].

$$RSSI [dBm] = P_t + G_t + G_r - L_{fsp} \quad (1)$$

$$L_{fsp} = -27.55 + 20 \log_{10}[f_{MHz}] + 20 \log_{10}[dm] \quad (2)$$

GENOSIM СИМУЛАТОР НА ENOCEAN ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА RSSI

За симулиране на процеса по изчисляване на RSSI, както е описано по стандарта, е предложен симулаторът GEnOSim. Симулаторът пресъздава процеса – от добавянето на устройства от потребителя, през свързването на добавените устройства, до визуализацията на графика за RSSI.

На Фиг. 1 е представена архитектурата на симулатора, която включва графичния интерфейс, добавянето и визуализирането на топологията на мрежата, както и модула за RSSI графика, предоставящ функционалност за визуализация на графика както за един, така и за няколко сензора едновременно.



Фиг.1 Архитектура на GEnOSim

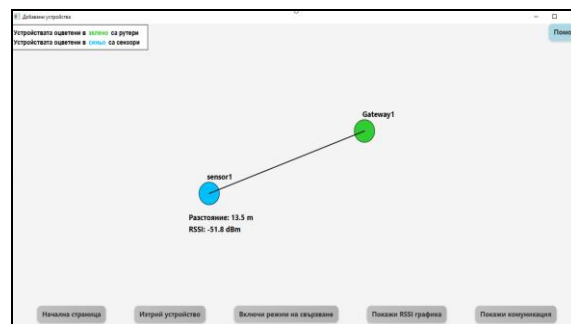
При стартиране на симулатора се визуализира неговата начална страница, където потребителят може да добави устройство, което отговаря на параметрите на реално устройство. След избор на техническите параметри се натиска бутонът „Добави устройство“, който, при коректно въведена комбинация от параметри, добавя устройството към топологията. Началният екран на симулатора е показан на Фиг. 2.

След добавяне на всички устройства и избор на бутона „Покажи добавени устройства“ се зарежда нов екран – „Добавени устройства“.



Фиг.2 Начален екран на GEnOSim

Той визуализира всички добавени устройства в текущата потребителска сесия във формата на кръг (син цвят за сензори и зелен цвят за маршрутизатори). При успешно свързване на две устройства между тях се появява непрекъсната линия, указваща тяхната свързаност, а под сензора се появява текст, указващ разстоянието между устройствата и стойността на RSSI в момента на свързване. Екранът „Добавени устройства“ е показан на Фиг. 3.



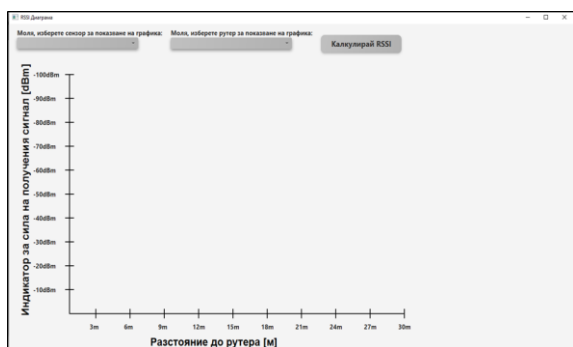
Фиг.3 Екран с „Добавени устройства“ в GEnOSim

За да може симулаторът да изчисли RSSI стойността на връзката, първо трябва да се определи разстоянието между устройствата, предвид че това е симулатор. В базата данни на приложението се записват координатите на всяко устройство по ординатата и абсцисата, а при преместване на устройството с мишката тези стойности се актуализират. При свързване на две устройства се изчисляват координатите им, чрез които може да се измери разликата в пиксели по ширината и височината между устройствата. По този начин се образува правоъгълник с четири страни. Диагоналът на този правоъгълник може да бъде намерен чрез Питагоровата теорема за намиране на хипотенуза в правоъгълен триъгълник. След извършване на изчислението се получава дължината на диагонала на правоъгълника, която всъщност представлява линията, свързваща двете устройства.

В симулатора е зададено, че 30 пиксела от екрана са еквивалентни на 1 метър,

като след делене на получената стойност за дължината на разстоянието на 30 се получава разстоянието в метри между устройствата. След това се извършва изчисление на RSSI стойността на връзката, като отново се вземат техническите параметри от базата данни за съответните устройства. След изчислението RSSI стойността се сравнява с минимално допустимата стойност, която е определящ фактор дали ще се установи връзка между устройствата или не. Ако изчислената стойност е над минималната, се визуализират разстоянието и RSSI стойностите под сензора, както е показано на Фиг. 3.

При наличие на устройства, които са осъществили връзка помежду си, потребителят може да генерира RSSI графика, като първоначално избере бутона „Покажи RSSI графика“. Изборът на бутона генерира нов екран, показан на Фиг. 4.



Фиг.4 Екран за генериране на RSSI графика в GEnOSim

След като екранът се зареди, потребителят вижда две падащи менюта, бутон и предварително начертани данни по абсцисата и ординатата. Двете падащи менюта служат за избор на маршрутизатор и сензор. При избор на сензор е налична опцията „All sensors“, която генерира графика за всички сензори, свързани към избрания от потребителя маршрутизатор.

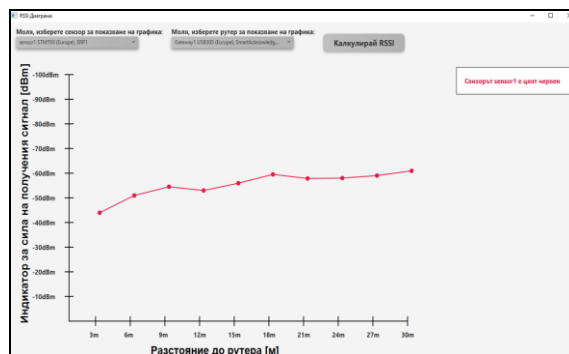
На абсцисната ос е представено разстоянието между сензора и рутера. Линията е разделена на 10 сегмента, всеки от които със стойност 3 метра дължина,

като се покрива разстояние от 0 до 30 метра.

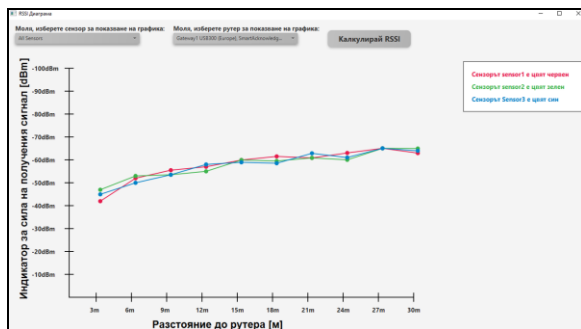
По ординатната ос е представен индикаторът за сила на получения сигнал (RSSI). Ординатната ос също е разделена на 10 сегмента, всеки от които със стойност 10 dBm, като по този начин се покрива интервал на RSSI стойности от 0 до 100 dBm.

След като потребителят направи своя избор на устройства и избере бутона „Калкулирай RSSI“, се генерира графика за RSSI на един или повече сензори, в зависимост от избора на потребителя. Нужно е избраният маршрутизатор да има предварително осъществена връзка с избрания сензор, за да може да се генерира графика. В противен случай на екрана ще се изведе съобщение с подходящ текст. На Фиг. 5 и Фиг. 6 са показани графики съответно за един и за няколко сензора.

От Фиг. 5 и Фиг. 6 може да се види, че графиката за всеки сензор е в различен цвят. Освен прилагането на формулата за изчисление на RSSI за различните разстояния, в графиката са заложили още два фактора – добавена е случайно избрана стойност на отклонение на RSSI, която варира между 0 и 10 dBm с цел да се симулират смущенията от стени и други предмети. Освен това, за всяко устройство, свързано към избрания маршрутизатор, стойността на RSSI се намалява с 1 dBm, с цел да се симулира смущение от комуникацията между останалите устройства.



Фиг.5 Графика за RSSI за един сензор

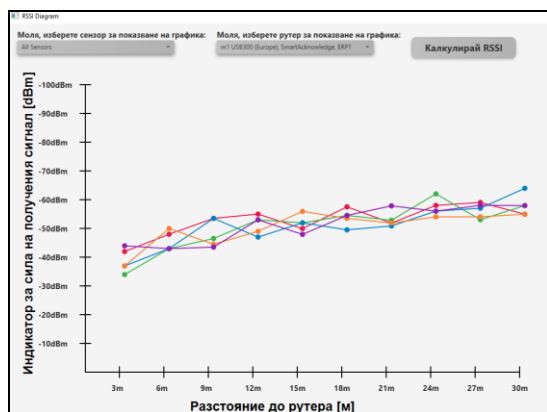


Фиг.6 Графика за RSSI за няколко сензора

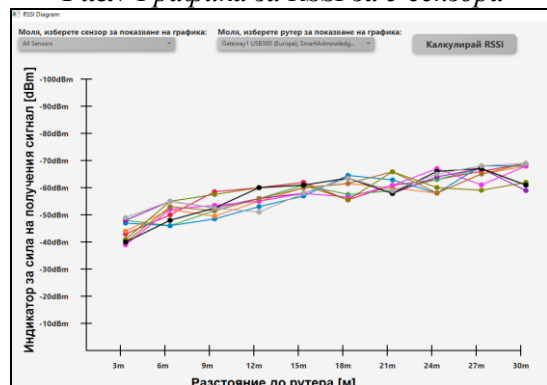
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

На Фиг.7, Фиг.8, Фиг.9 и Фиг.10 са представени графики за свързани сензори от 5 до 20 сензора, с цел да се покаже работата на симулатора при реални натоварвания. Максималният брой от 20 сензора е избран, защото това е максималният брой сензори, които могат да се свържат към EnOcean 434 Gateway [10].

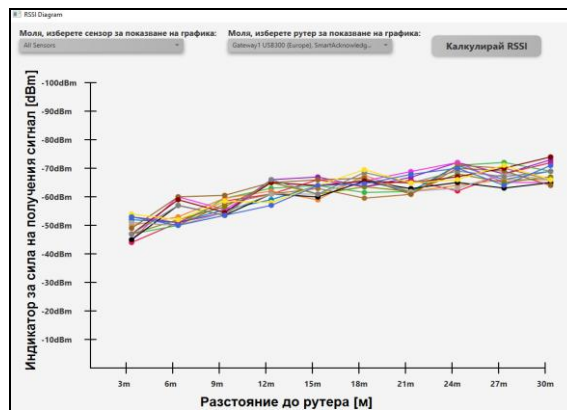
От показаните фигури може да се направи заключение, че колкото повече устройства са свързани към даден маршрутизатор, толкова по-малка е силата на сигнала (RSSI).



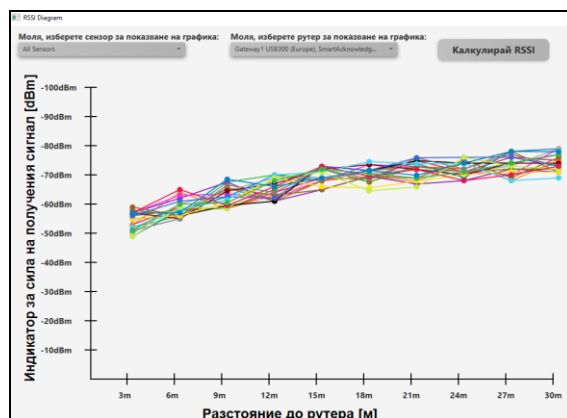
Фиг.7 Графика за RSSI за 5 сензора



Фиг.8 Графика за RSSI за 10 сензора



Фиг.9 Графика за RSSI за 15 сензора



Фиг.10 Графика за RSSI за 20 сензора

От резултатите, представени на Фиг.7, Фиг.8, Фиг.9 и Фиг.10 може да се заключи, че разстоянието между крайните устройства и маршрутизатора влияе пряко на стойността на RSSI, тъй като при по-голямо разстояние между устройствата сигнала затихва, съответно става по-слаб. На Фиг. 7 стойностите на RSSI варират от приблизително -33 dBm до около -62 dBm, докато при Фиг. 10, където броят на сензорите е четири пъти по-голям, интервалът е от -48 dBm до -80 dBm.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е предложен симулационен продукт, който пресъздава условията, съобразени с дефинициите на стандарта, в EnOcean мрежа, както в процеса по добавяне и свързване на устройства, така и при изчисление на RSSI и визуализиране на графика за RSSI. Изчислението на RSSI е структурирано така, че да симулира реалните условия на

комуникация, включително смущенията във въздушното пространство, смущения причинени от дъжд или от други устройства. Симулаторът и описаните функционалности имат за цел да пресъздадат процесите, както са по стандарт, за да може да бъде използван от ученици, студенти и учени за изследване на технологията и нейните възможности.

Благодарности: Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са извършени по проект НПЗ в рамките на присъщата на ТУ-Варна научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] What is the Internet of Things (IoT)? [Last visited on: 20.10.2025]. Link: <https://www.ibm.com/think/topics/internet-of-things>
- [2] Whitepaper_Introducing_the_EnOcean_Eco system. [Last visited on: 20.10.2025]. Link: https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2016/11/Whitepaper_Introducing_the_EnOcean_Ecosystem.pdf
- [3] EnOcean Radio Protocol 1, November 9, 2020. [Last visited on: 20.10.2025]. Link: <https://www.enocean.com/en/support/faq-knowledge-base/>
- [4] Wu, Yi, and Tao Feng. 2022. "An Anonymous Authentication and Key Update Mechanism for IoT Devices Based on EnOcean Protocol" Sensors 22, no. 17: 6713. <https://doi.org/10.3390/s22176713>
- [5] TCM 615 / TCM 615U / TCM 615J – EnOcean Transceiver Gateway Module, October, 2024. [Last visited on: 20.10.2025]. Link: https://www.enocean.com/wp-content/uploads/downloads-prod/produkte/en/products/enocean_modules_902mhz/tcm-615/TCM-615-User-Manual-Preview.pdf
- [6] SmartAcknowledge_Specification_v1.7, [Last visited on: 20.10.2025]. Link: https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2020/04/SmartAcknowledge_Specification_v1.7.pdf
- [7] USB Gateway USB 300 / USB 400J / USB 500U, [Last visited on: 20.10.2025]. Link: https://www.enocean.com/wp-content/uploads/downloads-prod/produkte/en/products/enocean_modules_928mhz/usb-400j/data-sheet-pdf/USB_300_USB_400J_USB_500U_Data_Sheet.pdf
- [8] Link Budgets, [Last visited on: 20.10.2025]. Link: https://pysdr.org/content/link_budgets.html#link-budgets
- [9] Free Space Path Loss: Derivation from Friss transmission equation, [Last visited on: 20.10.2025]. Link: <https://ensatellite.com/fspl/>
- [10] 434 EnOcean Gateway, [Last visited on: 20.10.2025]. Link: <https://helvar.com/product/434-ennocean-gateway/>