



TESTOVANIE TRASOVACIEHO SYSTÉMU V UZAVRETOM PRIESTORE

TESTING THE TRACKING SYSTEM IN A CONFINED SPACE

ERIKA SKÝPALOVÁ, TOMÁŠ LOVEČEK

ABSTRACT: *The article focuses on the reliability investigation of the tracking system in a confined space concerning the quality of the received signal. Positioning in the outdoor environment allows us to reach any destination without prior knowledge and understanding of its surroundings. However, emphasis is also placed on the problem of positioning in confined spaces. The importance of indoor positioning stems primarily from the need to navigate people in objects. Tracking systems based on Bluetooth Low Energy technology are used to determine the location of people in confined spaces. They are currently applied in various industries, and their implementation is growing in importance. The article contains a theoretical overview focusing on the characteristics and importance of tracking systems. In the methodological part, we investigate the reliability of the selected tracking system in specific confined space conditions based on implemented tests. The conclusion of the article contains an evaluation of the achieved results. We also highlight the advantages and shortcomings of the tested system.*

KEYWORDS: *Tracking system. Beacon. iBeacon technology. Strength of the received signal.*

ÚVOD

V článku sú interpretované výsledky testovania vybraného trasovacieho systému v uzavretom priestore z hľadiska kvality sily prijímaného signálu, ktorú predstavuje hodnota indikácie sily prijatého signálu, tzv. RSSI (Received Signal Strength Indication). V súčasnosti existuje niekoľko technológií, ktoré nám umožňujú sledovať pohyb osôb alebo majetku, napríklad tovaru. GPS lokalizačné systémy dobre fungujú pri určovaní polohy v exteriéri, ale ich použitie v uzavretom priestore je neefektívne. Bluetooth Low Energy predstavuje technológiu vhodnú pre určovanie polohy vo vnútorných priestoroch prostredníctvom beaconov. Vzhľadom na aktuálnu situáciu určovanie polohy vo vnútorných podmienkach nachádza nové uplatnenia, napríklad trasovanie osôb v uzavretých priestoroch s cieľom sledovania a obmedzovania šírenia chorôb.

1. TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Autor Bonsor (2021) charakterizuje trasovacie, lokalizačné či sledovacie systémy ako súhrn viacerých technológií, ktoré umožňujú sledovať rôzne predmety či osoby. V súčasnosti existuje niekoľko technológií určených na vytváranie systémov sledovania polohy, medzi ktoré patria:

- geografické informačné systémy (GIS),
- globálny pozičný systém (GPS),
- rádiový frekvenčný identifikácia (RFID),
- komunikácia na krátku vzdialenosť (NFC),
- QR kódy,
- WiFi,
- nízkoenergetická technológia Bluetooth beaconov.

Vybraný trasovací systém je založený na nízkoenergetickej technológii Bluetooth beaconoch, tzv. BLE (Bluetooth Low Energy). Beacons boli testované v podmienkach uzavretého priestoru. Bluetooth Low Energy bol vyvinutý v roku 2011 a pôvodne bol označený ako Bluetooth 4.0. BLE v porovnaní s klasickým Bluetooth poskytuje vylepšenú dátovú rýchlosť 24 Mb/s a dosah pokrytia 70 až 100 m pri vyššej energetickej účinnosti. BLE má schopnosť pripojiť sa za veľmi krátky čas, spravidla niekoľko milisekúnd. Následne prechádza do režimu spánku, kým sa pripojenie neobnoví, v dôsledku čoho je dosiahnutá nízka spotreba energie. Vďaka tejto vlastnosti je možné napájanie jednou batériou, ktorá môže mať životnosť až 5 rokov (Chen, 2021).

V porovnaní s WiFi umiestňovanej v blízkosti elektrických zásuviek môžu byť beacons s vlastnými batériami rozložené na ľubovoľných miestach uzavretých priestorov (Chen, 2021).

Beacon (z angl. maják) je možné charakterizovať ako malé zariadenie, ktoré v pravidelných, definovaných intervaloch vysiela rádiové signály, ktoré je možné prijímať mobilnými koncovými zariadeniami, ako napríklad smartfónmi alebo notebookmi. Bluetooth beacons využívajú Bluetooth Low Energy. Ide o rádiovú technológiu krátkeho dosahu. Je efektívna a užitočná, nakoľko využíva nízke úrovne energie. Beacony je možné napájať prostredníctvom pevného zdroja energie alebo použitím batérií (Al-Alqusair, 2019).

V súčasnosti sú beacons používané na rôzne účely. Vykonávajú niekoľko funkcií, ktoré sa neustále zdokonaľujú. Ich použitie je rozmanité a zahŕňa predovšetkým:

- vnútorné polohovanie a navigáciu,
- sledovanie osôb alebo majetku,
- reklamy alebo správy založené na polohe,
- zabezpečenie a automatické odomýkanie a zamykanie počítača,
- spúšťanie žiadostí o platby (Akpinar, 2021).

Beacons je možné využiť v rôznych sférach a odvetviach, napríklad v rámci marketingu a obchodu, hotelierstva, kaviarní a reštaurácií, športu a štadiónov, múzeí, nákupných centier, kín a divadiel, letísk, bankovníctva, dopravy či zábavných parkov a mnoho ďalších. Je možné ich využiť na navigáciu v priestore, či na upozorňovanie na rôzne akcie či udalosti (IntellectSoft, 2020). Bluetooth beacons v súčasnosti nachádzajú uplatnenie i v súvislosti s pandémiou koronavírusu. Umožňujú trasovať vzájomné kontakty osôb za účelom sledovania a obmedzovania šírenia COVID-19 na základe informácií o mieste stretnutia, vzájomnej vzdialenosti osôb alebo doby stretnutia (IOTTIVE, 2021).

Aplikácie beaconov zahŕňajú vnútornú lokalizáciu, detekciu blízkosti a snímanie aktivity. Lokalizácia je jedným z najdôležitejších prvkov aplikácie beaconov. Zatiaľ čo technológia GPS bola prínosná v rámci vonkajšej lokalizácie, vo vnútorných priestoroch sa javila ako neúčinná. Riešenia na báze WiFi prístupových bodov majú obmedzený počet týchto bodov a sú nepružné pri ich nasadzovaní, nakoľko inštalácia prístupových bodov je určená na pokrytie signálom a nie na lokalizáciu. RFID technológia je určená na lokalizáciu, avšak pre jej fungovanie je potrebné zaobstarať špeciálnu čítačku. Oproti ostatným technológiám beacons majú výhodu, pretože výrobné náklady týchto zariadení sú nízke, ich implementácia je jednoduchá a sú ľahko dostupné pre užívateľov (Jeon, 2018).

Všetky moderné smartfóny podporujú BLE technológiu, avšak je potrebné zapnúť Bluetooth. Systém iOS 7 a novší umožňuje smartfónom neustále BLE zariadenia a aktivovať aplikácie, keď sa dostanú do dosahu príslušného beaconu i v prípade, že sú aplikácie zatvorené. Systém Android neposkytuje žiadnu správu beaconov operačného systému. V dôsledku toho musia aplikácie samé vyhľadávať zariadenia BLE, pričom aplikácie musia byť spustené stále. Pre zariadenia so systémom MS Windows a BlackBerry sú prístupné rôzne úrovne kompatibility. Za posledné roky moderné smartfóny podporujú BLE podobne ako Android (Akpinar, 2021).

1.1 Technológia iBeacon

iBeacon je technológia, ktorú vyvinula spoločnosť Apple v roku 2013. iBeacon predstavuje technológiu, ktorá funguje na princípe Bluetooth Low Energy. Okrem iBeacon poznáme AltBeacon a Eddystone (Studenič, 2016).

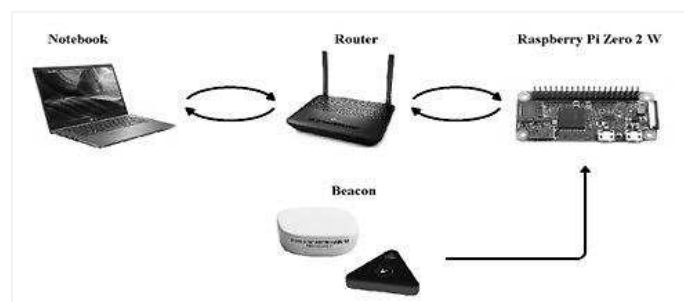
Vnútorné určovanie polohy na báze Bluetooth 4.0 vyžaduje iba 3 ms na pripojenie a je schopné pokryť oblasť veľkú až 100 m v priemere. Technológia iBeacon je charakteristická jednoduchou implementáciou, nízkou spotrebou energie a nízkou cenou. S dosahom niekoľko desiatok metrov dokáže presne určovať polohu v uzavretých priestoroch (Wang, 2017).

Vzdialenosť medzi beaconmi a smartfónom je možné zistiť na základe RSSI. Hodnota RSSI je definovaná ako indikátor sily prijímaného signálu. Ide o silu signálu beaconu, ako ho je možné vidieť na prijímacom zariadení, napríklad v smartfóne. Sila signálu je závislá od vzdialenosti a hodnoty vysielacieho výkonu. RSSI slúži na určenie približnej vzdialenosti medzi beaconom a prijímacím zariadením na základe inej hodnoty, ktorá je definovaná iBeacon štandardom – meraným výkonom. Ide o konštantu určujúcu, aké je očakávané RSSI vo vzdialenosti 1 m od beaconu. RSSI má tendenciu kolísať v dôsledku pôsobenia vonkajších faktorov, ako je difrakcia, absorpcia či interferencia, ktoré vplyvajú na rádiové vlny. Čím ďalej sa zariadenie nachádza od beaconu, tým je RSSI nestabilnejšie (How to Calculate Distance, 2016). Dátový formát BLE obsahuje 4 hlavné informácie, a to UUID, Major, Minor a Tx-power. **UUID** (Universally Unique Identifier) je 16-bajtový reťazec, ktorý sa používa na odlíšenie rôznych zariadení iBeacon. Ak sú iBeacony umiestnené v obchodnom reťazci, terminál je schopný rozpoznať reťazec, ktorému zariadenia patria. **Major** predstavuje 2-bajtový reťazec používaný na určenie špecifického vlastníctva zariadení. Ak obchodný reťazec disponuje piatimi zariadeniami iBeacon, všetky tieto zariadenia majú rovnaké Major číslo. **Minor** je charakterizovaný ako špeciálny identifikátor pre každé zariadenie, respektíve pre daný objekt. iBeacon má pre jeden objekt iný Minor. **Tx-power** je definované ako sila signálu presne 1 m od zariadenia, na základe ktorej je možné posúdiť vzdialenosť bezdrôtového signálu medzi zariadením iBeacon a terminálom. Avšak v skutočnej meracej aplikácii namerané hodnoty dosahu bezdrôtového signálu iBeacon nie sú úplne presné. Je to spôsobené zmenami a výkyvmi bezdrôtového signálu či faktormi prostredia a iných charakteristík (Ye, 2020). Vzdialenosť smartfónu od beaconu je možné určiť na metre, avšak poznáme tri hladiny vzdialenosti. **Immediate** je označovaná ako hladina bez prostredia do 50 cm. **Near** je blízka, do 3 m. **Far** je vzdialená hladina, viac ako niekoľko metrov. **Unknown** vyjadruje, že i keď bol signál prijatý, nie je možné určiť vzdialenosť (Štěpánek, 2015).

V súčasnosti je systém trasovania osôb prostredníctvom beaconov implementovaný v mnohých odvetviach. Technológia iBeacon je vhodná na určovanie polohy v uzavretých priestoroch, v dôsledku čoho má veľký význam pre rôzne organizácie či prevádzky. Prostredníctvom smartfónu a príslušnej mobilnej aplikácie je možné interagovať s beaconmi. V článku sú interpretované výsledky testovania trasovacieho systému založeného na technológii iBeacon, ktorý je tvorený beaconmi EEK-N a FSC-BP103 v uzavretom priestore. Bolo realizované experimentálne testovanie zamerané na zisťovanie vplyvu vzdialenosti beaconov na hodnotu prijímaného signálu RSSI v dôsledku meniacich sa podmienok v danom prostredí.

2. METODIKA A POUŽITÉ NÁSTROJE

Boli testované beacony FSC-BP103B a EEK-N z hľadiska sily prijímaného signálu, ktorú predstavuje hodnota RSSI. Pri testovaní bol využitý mikropočítač Raspberry Pi Zero 2 W s operačným systémom Raspbian. Ide o distribúciu Linuxu, ktorá sa zakladá na Debiane. Mikropočítač disponuje WiFi, Bluetooth a micro HDMI redukciou na monitor. Dátovým úložiskom je SD karta a napájaný je prostredníctvom micro USB 5 V, odporúča sa 2 A. Systém je napájaný prostredníctvom externej nabíjačky (Kuffa 2022). Pri realizácii experimentu boli použité ďalšie pomôcky, ako sťahovacie pásky, lepiace farebné papieriky, lepiaca páska, nožnice, meter, statív, notebook a pod.



Obrázok 1 Schéma komunikácie medzi jednotlivými zariadeniami

Cieľom testovania bolo skúmanie vplyvu vzdialenosti beaconov na hodnotu RSSI. V neposlednom rade dôležitou skutočnosťou je, že experimentálne testovanie bolo realizované v podmienkach uzavretého priestoru. Prvým krokom bola príprava všetkých pomôcok a zariadení potrebných k uskutočneniu testov. Následne boli vytvorené podmienky pre vykonávanie jednotlivých testov. Do stredu miestnosti bol umiestnený mikropočítač vo výške 1,6 m, ktorý predstavuje prijímacie zariadenie. Prostredníctvom WiFi routera bolo vytvorené bezdrôtové pripojenie cez lokálnu sieť na IP adresu mikropočítača, na ktorom bol nainštalovaný softvér umožňujúci prístup k dátam súvisiacich s beaconmi vrátane hodnoty RSSI. Následne boli okolo mikropočítača vytvorené 3 kružnice s polomerami 0,5 m, 1 m a 2 m, na ktorých boli vyznačené body prechodov. Po vyznačení bodov na kružniciach boli vykonávané prechody v smere hodinových ručičiek, pričom v každom bode a v konkrétnom čase sa merali hodnoty RSSI oboch beaconov. Pre výšku inštalácie mikropočítača boli vykonané prechody po všetkých vytvorených kružniciach. Pri vykonávaní prechodov po vyznačených bodoch na kružniciach bol beacon EEK-N uchopený v pravej ruke a beacon FSC-BP103B v ľavej ruke a bola zaistená ich priama viditeľnosť.



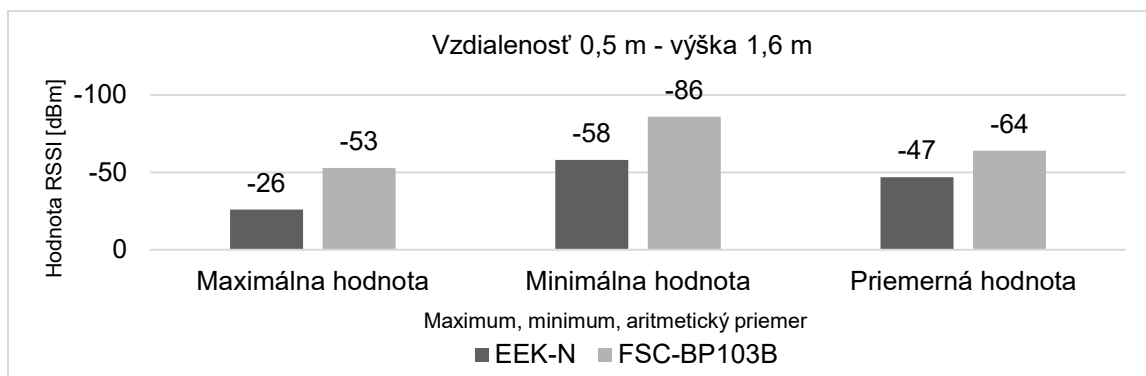
Obrázok 2 Príprava podmienok pre testovanie

3. VÝSLEDKY

Nakoľko beacons neustále vysielajú signály, v konkrétnom čase bolo na IP adrese mikropočítača zobrazených niekoľko hodnôt RSSI. V dôsledku toho bol vypočítaný aritmetický priemer 5 hodnôt RSSI pre oba beacons v každom bode kružnice. Pri inštalácii mikropočítača vo výške 1,6 m sa vykonávali prechody po 3 kružniciach s polomerom 0,5 m, 1 m a 2 m. Kružnica s polomerom 0,5 m obsahovala 16 bodov. Kružnice s polomerom 1 m a 2 m obsahovali 24 bodov. Prostredníctvom výpočtov hodnôt RSSI boli získané maximálne, minimálne a priemerné hodnoty beaconov vo výške 1,6 m a vo vzdialenosti 0,5 m, 1 m a 2 m. (Tabuľka 1).

Tabuľka 1 Prehľad hodnôt RSSI vo vzdialenostiach 0,5 m, 1 m a 2 m pri inštalácii mikropočítača vo výške 1,6 m (Vlastné spracovanie)

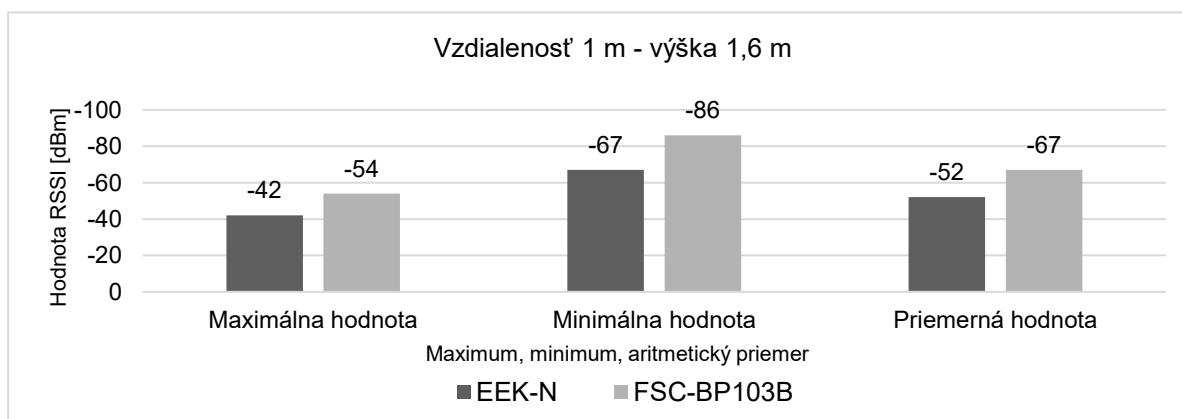
RSSI [dBm]	VÝŠKA 1,6 m					
	Vzdialenosť [m]					
	0,5		1		2	
	EEK-N	FSC-BP103B	EEK-N	FSC-BP103B	EEK-N	FSC-BP103B
Maximálna hodnota	-26	-53	-42	-54	-44	-51
Minimálna hodnota	-58	-86	-67	-86	-69	-75
Priemerná hodnota	-47	-64	-52	-67	-54	-63



Obrázok 3 Hodnoty RSSI vo vzdialenosti 0,5 m – výška 1,6 m

Na Obrázku 3 sú zobrazené maximálne, minimálne a priemerné hodnoty jednotlivých beaconov pri inštalácii mikropočítača vo výške 1,6 m vo vzdialenosti 0,5 m. Pri týchto podmienkach bola **maximálna hodnota** RSSI pre beacon EEK-N **-26 dBm** a **minimálna hodnota** **-58 dBm**. **Priemerná hodnota** všetkých hodnôt v jednotlivých bodoch kružnice s polomerom 0,5 m je **-47 dBm**.

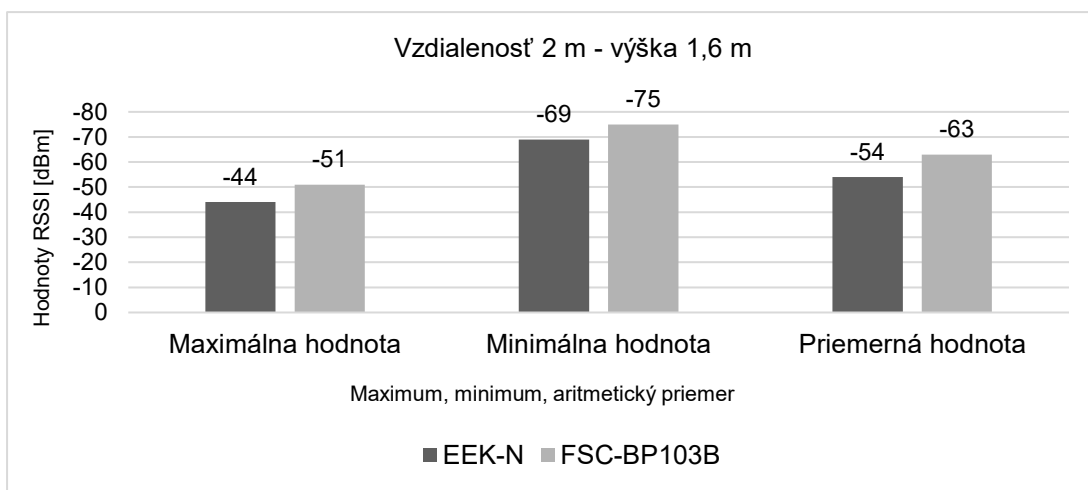
Na základe hodnôt na Obrázku 3 je možné povedať, že beacon FSC-BP103B v porovnaní s beaconom EEK-N dosahoval nižšie hodnoty RSSI. **Maximálna hodnota** poklesla o **-27 dBm**, **minimálna hodnota** o **-28 dBm** a **priemerná hodnota** o **-17 dBm**. Z toho vyplýva, že signál beaconu FSC-BP103B je vo vzdialenosti 0,5 m slabší v porovnaní so signálom beaconu EEK-N.



Obrázok 4 Hodnoty RSSI vo vzdialenosti 1 m – výška 1,6 m (Vlastné spracovanie)

Pri vzdialenosti 1 m dosiahol beacon EEK-N **maximálnu hodnotu** RSSI **-42 dBm**. **Minimum** predstavuje hodnota **-67 dBm** a **priemerom** prechodov vo všetkých bodoch je hodnota **-52 dBm**. Porovnaním s hodnotami uvedenými na Obrázku 3 môžeme konštatovať, že pri vzdialenosti 1 m nastal pokles priemernej hodnoty RSSI.

I v tomto prípade beacon FSC-BP103B dosiahol nižšie hodnoty RSSI v porovnaní s beaconom EEK-N. **Maximálna hodnota** klesla o **-8 dBm**. Pokles nastal i pri **minimálnej hodnote** RSSI, ktorá je o **-19 dBm** nižšia ako pri beacone EEK-N. **Priemerná hodnota** poklesla o **-15 dBm**. Podľa porovnania s hodnotami uvedenými na Obrázku 3 nastal mierny pokles priemernej hodnoty RSSI vzhľadom na zväčšujúcu sa vzdialenosť.



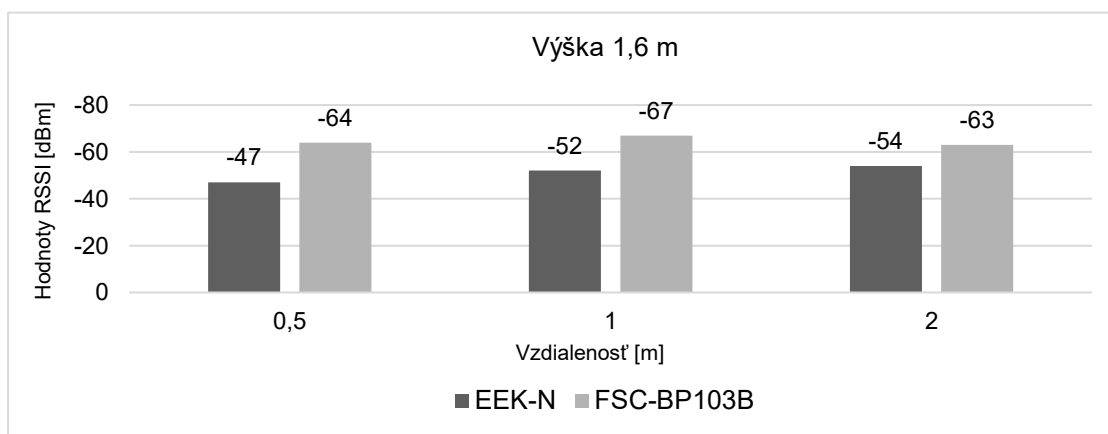
Obrázok 5 Hodnoty RSSI vo vzdialenosti 2 m – výška 1,6 m

Pri umiestnení mikropočítača vo výške 2 m beacon EEK-N dosiahol **maximálnu hodnotu** RSSI **-44 dBm**, **minimálnu hodnotu** **-69 dBm** a **priemerná hodnota** RSSI bola **-54 dBm**. Na základe komparácie daných hodnôt s hodnotami RSSI vo vzdialenosti 0,5 m a 1 m môžeme povedať, že vzhľadom na zväčšujúcu sa vzdialenosť beaconov od mikropočítača nastal pokles priemerných hodnôt RSSI vo vzdialenosti 2 m.

I v tomto prípade beacon FSC-BP103B generoval slabší signál vo vzdialenosti 2 m v porovnaní s beaconom EEK-N. **Maximálna hodnota** poklesla o **-7 dBm**, **minimálna hodnota** o **-6 dBm** a **priemer** predstavuje hodnotu nižšiu o **-9 dBm**. Avšak rozdiely v priemernej hodnote RSSI oboch beaconov vo vzdialenosti 2 m sú menšie ako pri vzdialenosti 0,5 m a 1 m.

4. DISKUSIA

V priebehu realizácie jednotlivých testov nedošlo k žiadnym problémom či poruchám systému, ktoré by znemožňovali testovanie. Testovanie prebiehalo za normálnych podmienok. V rámci testovania v konkrétnych podmienkach uzavretého priestoru nenastali žiadne systémové chyby. Jednou z výhod trasovacieho systému je, že hoci má vzdialenosť beaconov vplyv na hodnoty RSSI, mikropočítač bol schopný prijímať signály vysielané beaconmi v každej stanovenej vzdialenosti a zároveň bol schopný prijímať signály v každom vyznačenom bode kružníc. Na základe získaných výsledkov je možné konštatovať, že sila signálu beaconu EEK-N bola väčšia v porovnaní s vysielaným signálom beaconu FSC-BP103B.



Obrázok 5 Priemerné hodnoty RSSI beaconov vo výške 1,6 m

Pri umiestnení mikropočítača vo výške 1,6 m priemerné hodnoty RSSI beaconu EEK-N klesajú so zväčšujúcou sa vzdialenosťou. Priemerné hodnoty RSSI beaconu FSC-BP103B sú vo všetkých vzdialenostiach nižšie v porovnaní s beaconom EEK-N. Pri beacone FSC-BP103B priemerné hodnoty v závislosti od vzdialenosti kolíšu.

Beacon FSC-BP103B dosahoval nižšie hodnoty RSSI, čo mohlo byť zapríčinené rozdielnou prijímacou schopnosťou jednotlivých beaconov. Zatiaľ čo pri beacone EEK-N má signál klesajúcu tendenciu vzhľadom na zväčšujúcu sa vzdialenosť, signál beaconu FSC-BP103B vo vzdialenosti 1 m dosiahol nárast, pričom pri vzdialenosti 2 m signál poklesol. Príčinou kolísania hodnôt môžu byť odrazy signálu od materiálov nachádzajúcich sa v priestore. Dané odchýlky mohli taktiež vzniknúť v dôsledku nepresnosti meraní. Predpokladá sa, že stúpanie a klesanie hodnôt RSSI beaconu FSC-BP103B vzniklo z dôvodu, že pri testovaní bolo použité jedno prijímacie zariadenie, čím nebolo zaistené dostatočné pokrytie priestoru prijímacím signálom. Pre zaistenie dostatočného pokrytia dosahov prijímajúceho signálu bolo navrhnuté použitie aspoň dvoch prijímačov. Implementáciou viacerých prijímacích zariadení je možné dosiahnuť presnejšie určovanie polohy v priestore. Použitie jedného prijímacieho zariadenia je vhodné pri špecifických podmienkach priechodnosti signálu cez prekážky z rôznych materiálov.

Každá kružnica obsahovala určitý počet bodov, po ktorých boli vykonávané prechody. Pre každý bod prechodu bol vypočítaný aritmetický priemer 5 hodnôt RSSI. Následne bol vypočítaný aritmetický priemer všetkých bodov jednotlivých kružníc, ktoré sú uvedené v predchádzajúcich grafoch. Kružnica s polomerom 0,5 m obsahovala 16 bodov. Beacon EEK-N dosahoval vo vzdialenosti 0,5 m hodnoty RSSI v rozsahu od -26 dBm do -58 dBm. Prvý bod na kružnici bol orientovaný pred prijímacím zariadením a aritmetický priemer beaconu EEK-N bol vypočítaný z hodnôt -48, -52, -54, -58 a -67 dBm, z ktorých sme získali aritmetický priemer, a to -56 dBm. Najnižšia hodnota RSSI v tomto bode je -67 dBm. Nakoľko minimálna hodnota spomedzi všetkých bodov na kružnici s polomerom 0,5 m je -58 dBm, je možné konštatovať, že hodnota -67 dBm patrí do intervalu hodnôt pre vzdialenosť 2 m. Z toho vyplýva, že odchýlky generovaných hodnôt na IP adrese mikropočítača môžu ovplyvňovať presnosť určovania polohy a vzájomnej vzdialenosti vysieláčov od prijímacieho zariadenia. Z tohto dôvodu je potrebné využitie viacerých prijímacích zariadení, aby bolo zaistené dostatočné pokrytie daného priestoru prijímacím signálom. **Získané výsledky testovania** zameraného na skúmanie vplyvu vzdialenosti beaconov na hodnotu RSSI obsiahnuté v tomto článku môžu slúžiť ako podklad pre realizovanie ďalších testov daného trasovacieho systému. Výsledky testovania môžu byť využité i v rámci projektu zameraného na monitorovanie a trasovanie pohybu a kontaktu osôb v zdravotníckych zariadeniach.

ZÁVER

V článku bol zisťovaný vplyv vzdialenosti beaconov na kvalitu prijímaného signálu. Problémom pre implementáciu trasovacieho systému sú faktory ovplyvňujúce šírenie signálu vysielaného beaconmi. Prostredníctvom vykonaných testov bolo preukázané, že na kvalitu sily prijímaného signálu charakterizovanou hodnotou RSSI môže negatívne vplyvať vzdialenosť beaconov od prijímacieho zariadenia. Testovaním bolo preukázané, že čím je väčšia vzdialenosť beaconov od prijímacieho zariadenia, tým klesá kvalita sily prijímaného signálu. Dospelo sa k záverom, že presnosť výsledných hodnôt RSSI získaných z testov je ovplyvnená použitím iba jedného prijímacieho zariadenia. Nedostatočné pokrytie priestoru prijímacím signálom môže teda ovplyvňovať presnosť určovania polohy. Preto je dôležité pred samotnou implementáciou systému posúdiť podmienky daného priestoru, vykonať kalibráciu softvéru a následne navrhnutý systém otestovať z hľadiska jeho funkčnosti. Kvalita sily prijímaného signálu môže byť ovplyvnená i ďalšími faktormi, ako výška umiestnenia prijímacieho zariadenia, prekážky existujúce v konkrétnom priestore či stavebné konštrukcie objektov. Z tohto dôvodu budú v budúcnosti realizované ďalšie testovania zamerané na skúmanie spoľahlivosti trasovacieho systému v špecifických podmienkach uzatvorených priestorov za účelom posúdenia rôznych faktorov, ktoré by mohli obmedzovať šírenie a kvalitu signálu.

POĎAKOVANIE

Článok bol vytvorený za podpory projektu Žilinskej univerzity v Žiline APVV-20-0457: „Monitorovanie a trasovanie pohybu a kontaktu osôb v zdravotníckych zariadeniach.“

LITERATÚRA

- AKPINAR, E. (2021). Bluetooth beacons: Everything you need to know. Retrieved September 12, 2022, from <https://www.pointr.tech/blog/beacons-everything-you-need-to-know>
- AL-ALQUSAIR, D. et al. (2019). Measuring Patient Experience In Real Time Using iBeacon Technology. Retrieved September 12, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/334962025_Measuring_Patient_Experience_In_Real_Time_Using_iBeacon_Technology
- BONSOR, K. How Location Tracking Works. Retrieved September 9, 2022, from <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/location-tracking1.htm>
- CHEN, R. a L. CHEN, (2021). Smartphone-Based Indoor Positioning Technologies. Retrieved September 12, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/350698085_Smartphone-Based_Indoor_Positioning_Technologies
- Future of iBeacons in 2021 and beyond. (2021). Retrieved September 9, 2022, from <https://iottive.com/2021/01/19/future-of-ibeacons-in-2021-and-beyond/>
- How to Calculate Distance from the RSSI value of the BLE Beacon. (2016). Retrieved September 13, 2022, from <https://iotandelectronics.wordpress.com/2016/10/07/how-to-calculate-distance-from-the-rssi-value-of-the-ble-beacon/>
- JEON, K. et al. (2018). BLE Beacons for Internet of Things Applications: Survey, Challenges and Opportunities. Retrieved September 14, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/322201975_BLE_Beacons_for_Internet_of_Things_Applications_Survey_Challenges_and_Opportunities
- KUFFA, R. (2022). Charakteristika použitých zariadení tvoriacich trasovací systém. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Žilina. Osobná komunikácia [2022-04-07].
- STUDENIČ, A. (2016). Analýza beacon systémů na Bluetooth Low Energy. Masarykova univerzita v Brne. Diplomová práca.
- ŠTĚPÁNEK, A. (2015). Technologie iBeacon a její využití pro lokalizaci a komunikaci mezi mobilními zařízeními. Masarykova univerzita v Brne. Diplomová práca.
- WANG, Q. et al., (2017). An Indoor Positioning System Based on iBeacon. Retrieved September 12, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/314292125_An_Indoor_Positioning_System_Based_on_iBeacon
- What Are Beacons and How Beacons Technology Works.* (2020). Retrieved September 12, 2022, from <https://www.intellectsoft.net/blog/what-are-beacons-and-how-do-they-work/>

Erika Skýpalová, Ing.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

e-mail: skypalova@uniza.sk

Tomáš Loveček, prof., Ing., PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

e-mail: tomas.lovecek@fbi.uniza.sk
