

Testovanie technológie XBee z hľadiska dosahu a stratovosti paketov

Evaluation of XBEE technology for packet reach and lost

Lukáš Zagajec, Miloš Orgoň

{lukas.zagajec, milos.orgon}@stuba.sk

Slovak University of Technology in Bratislava, Vazovova 5 Bratislava 812 43, Slovakia

DOI: -

Abstract: This article deals with the evaluation of XBee technology for packet reach and loss in a wireless communication network. The paper presents the results of the testing of several types of sensors with the focus on the impact of their communication and packet loss in direct visibility and installation. The article also configures XBee chips with sensors that use the ZigBee PRO Series 1 standard.

Testovanie technológie XBee z hľadiska dosahu a stratovosti paketov

Lukáš Zagajec, Miloš Orgoň

Slovak University of Technology in Bratislava, Vazovova 5 Bratislava 812 43, Slovakia
Email: {lukas.zagajec, milos.orgon}@stuba.sk

Abstrakt – Predmetom tohto článku je testovanie technológie XBee z hľadiska dosahu a stratovosti paketov v bezdrôtovej komunikačnej sieti založenej na báze technológie XBee. V článku sú prezentované výsledky testovania viacerých druhov senzorov vzhľadom na dosah ich komunikácie a stratovosť paketov pri priamej viditeľnosti a v zástavbe. Súčasťou článku je aj konfigurácia čipov Xbee so senzormi, ktoré využívajú štandard ZigBee PRO Series 1.

1 Úvod

Bezdrôtové senzorové siete hrajú dôležitú úlohu v rámci Internetu Vecí (IoT), výskum sa v súčasnosti zameriava na nízkoenergetické siete pre zber dát [1–3]. V dnešnej dobe sa IoT šíri do mnohých rôznych oblastí napríklad inteligentné domy [4], doprava [5], poľnohospodárstvo priemyselné systémy, automatizačné procesy atď. Tento článok sa zameriava na jednu z najvyspelejších technológií pre výskum v oblasti IoT, technológie XBee (ZigBee) [6, 7]. Štandard ZigBee bol vyvinutý v r. 2004 a je určený na zabezpečenie bezdrôtového spojenia medzi jednotlivými zariadeniami, ktoré by mali mať síce veľmi nízku spotrebu energie, nižšie prenosové rýchlosti, ale široké možnosti využitia. Uplatnenie tohto štandardu je predovšetkým v senzorových sieťach určených na zber dát, reguláciu a ovládanie rôznych zariadení. Pojem XBee je obchodným názvom bezdrôtových komunikačných zariadení vyrábaných firmou Digi International. Tieto zariadenia využívajú bezdrôtový komunikačný protokol ZigBee, ktorá vychádza zo štandardu 802.15.4 [8]. S týmto bezdrôtovým štandardom možno komunikovať na bezlicenčných pásmach 2,4 GHz, 900 MHz a 868 MHz. Príspevok sa zameriava na testovanie technológie Xbee v reálnom prostredí s ohľadom na šum, úroveň útlmu, vzdialenosť, prekryvanie pásiem a stratám paketov. Kapitola 2 obsahuje predstavenie použitých zariadení, v kapitole 3 je ukázaná ich konfigurácia a v kapitole 4 sú výsledky vonkajšieho merania. V kapitole 5 je popísané vonkajšie overenie tejto technológie.

2 Príprava testovacieho zariadenia

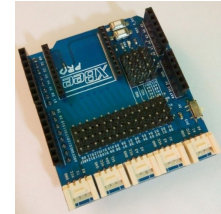
Jednotlivé súčasti zariadenia možno vidieť na obr. 1. Na testovanie dosahu technológie Xbee bola použitá vývojová

doska Arduino Leonardo viz obr. 1a ktorá je založená na mikrokontroléri ATmega32u4, obsahuje integrovanú podporu pre USB rozhranie. Samotná doska má 20 digitálnych vstupov/výstupov a 12 z nich môže byť využitých ako analógové vstupy/výstupy [9].

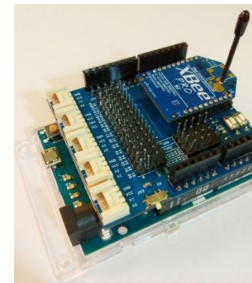
Na testovanie bolo ďalej potrebné použiť prepojovaciu dosku viz obr. 1b, ktorá umožňuje prepojenie čipu XBee s doskou Arduino Leonardo viz obr. 1c.



(a) Vývojová doska Arduino.



(b) Funkcie PLC adaptérov.



(c) XBee čip zapojený do Arduino Leonardo dosky pomocou prepojovacej dosky.

Obr. 1: Jednotlivé súčasti zariadenia.

Na konfiguráciu Xbee čipov bol použitý program XBee Configuration & Test Utility (XCTU), verzia 6.3.5. Tento program je voľne dostupný a širiteľný. Pomocou neho je možné nielen konfigurovať čipy, ale aj merať vzdialenosť komunikácie, testovať komunikáciu čipov, kresliť sieťové topológie alebo napríklad kontrolovať prenosové pásmo pomocou spektrálneho analyzátoru.

Po nainštalovaní programu sa zobrazí úvodné okno, v ktorom je možné vybrať nasledujúce možnosti:

- Možnosť pridania zariadení do programu,
- zobrazenie pokročilých možností (napr.: generovanie rámcov, Recovery procedúra na obnovenie továrenských nastavení jednotlivých čipov, test dosahu, na-

hratie novej verzie firmvéru alebo spomínaný spektrálny analyzátor),

- konfigurácia čipov,
- konzolové okno,
- kreslenie sieťovej topológie.

Po pripojení čipov k počítaču pomocou USB kábla boli vybrané zariadenia a porty, na ktorých bude prebiehať konfigurácia (v našom prípade porty COM3 a COM5). Potom boli zvolené prenosové parametre sériového rozhrania (v našom prípade boli ponechané pôvodné hodnoty, teda prenosová rýchlosť: 9600, dátové bity: 8, parita: žiadna, stop bity: 1 a riadenie toku: žiadna.

3 Charakteristika a konfigurácia jednotlivých typov zariadení v sieti XBee

Každá topológia siete XBee obsahuje jeden XBee Coordinator (C), ktorý je jedinečný pre danú sieť, ďalej viacero XBee Routers (R) a XBee End Devices (ED).

XBee koordinátor (C) je základným prvkom každej XBee topológie. Coordinator začína celú komunikáciu v sieti, ďalej slúži na nastavenie parametrov v sieti, na riadenie a smerovanie komunikácie medzi ostatnými zariadeniami [10]. Coordinator taktiež zabezpečuje výber vhodnej frekvencie, teda výber kanála, na ktorom bude prebiehať komunikácia. Rovnako aj riadi, dovoľuje a zakazuje ostatným zariadeniam pripájať sa do siete. Coordinator je plnohodnotným prvkom celej siete, takže vie odosielať, prijímať a smerovať dáta [10]. Coordinator potrebuje stálu prevádzku, teda externý zdroj elektrickej energie [10].

Router (R) je ďalší zo základných prvkov siete, pokiaľ potrebujeme rozšíriť dosah celej siete, resp. smerovať prevádzku. Router vie prijímať, odosielať a smerovať dáta. Router podobne, ako Coordinator, potrebuje byť neustále aktívny, takže si vyžaduje externý zdroj elektrickej energie. Toto zariadenie nesmie prejsť do úsporného režimu, pretože ak by sa tak stalo, bolo by znemožnené smerovanie prevádzky [10], [11].

End Device je zariadenie, ktoré má zvyčajne obmedzenú funkcionálnu a musí komunikovať s nadradeným uzlom, čo je Coordinator, resp. Router [10]. Pokiaľ je End Device typu RFD (Reduced Functionality Device) a napája sa z batérie, väčšinu času trávi v úspornom režime, čiže nevysiela. Do aktívneho režimu sa dostáva len v prípade, že ide vysielať, resp. sa chystá prijímať.

3.1 Konfigurácia čipov Xbee

Podľa odporúčania výrobcu čipov je na začiatku konfigurácie potrebné načítať aktuálny firmvér čipu. To sa vykoná kliknutím na tlačidlo „Update“. Otvorí sa okno, v ktorom je možné ako prvú možnosť vybrať „Product family“, čo je vlastne typ firmvéru. Nami použité tri čipy mali k dispozícii dva typy firmvéru, a to: „XBP24“, čo je vlastne firmvér pre štandard ZigBee („XBP24-DM“ je firmvér pre štandard ZigBee Mesh). Následne sa vybral funkčný set („Function set“) „XBEE PRO 802.15.4“ a najaktuálnejšia verzia firmvéru

– v našom prípade verzia „10ef“. Po kliknutí na tlačidlo „Update“ sa nahrala táto konfigurácia do zariadenia. Počas nahrávania firmvéru, ktoré trvá istý čas, sa občas vyskytlo hlásenie o nutnosti stlačiť resetovacie tlačidlo. Po nahratí firmvéru do oboch čipov nasledovalo nastavenie parametrov.

Každá topológia siete XBee obsahuje jeden Coordinator, ktorý je jedinečný pre danú sieť, viacero Routers a väčší počet End Devices. Ako už bolo spomenuté, Coordinator je základným prvkom každej XBee topológie. Podľa IEEE 802.15.4 je toto zariadenie typu full function device (FFD). Coordinator začína celú komunikáciu v sieti, ďalej slúži na nastavenie parametrov v sieti, na riadenie a smerovanie komunikácie medzi ostatnými zariadeniami [10]. Coordinator taktiež zabezpečuje výber vhodnej frekvencie, teda výber kanála, na ktorom bude prebiehať komunikácia. Rovnako aj riadi, dovoľuje a zakazuje ostatným zariadeniam pripájať sa do siete. Ako sme sa už v predošlej časti zmienili, každá XBee sieť musí obsahovať práve jeden Coordinator. Coordinator je, samozrejme, plnohodnotným prvkom celej siete, takže vie odosielať, prijímať a smerovať dáta [10].

V našom experimente sme využívali len dva typy zariadení - Coordinator a End Devices, preto v nasledovnej časti je popísaná konfigurácia len týchto dvoch zariadení.

3.2 Konfigurácia zariadení

Najprv bola uskutočnená konfigurácia End Devices. Po nahratí aktuálneho firmvéru a načítaní základnej konfigurácie a jej zapísaní na čip prebiehala konfigurácia End Devices nasledovne:

1. Označenie konfigurovaného zariadenia prostredníctvom zmeny parametra „NI“ (označenie zariadenia) na „ED TX“.
2. Zmena parametra „CH“, (kanál) na hodnotu „10“ (Tento kanál bude musieť byť nakonfigurovaný aj na zariadení C RX).
3. Zmena parametra „ID“ (identifikátor PAN siete) na hodnotu „2019“. Tento parameter je potrebné zmeniť na oboch zariadeniach.
4. Nastavenie parametra „MY“ predstavuje 16 bitovú zdrojovú adresu. Na zjednodušenie konfigurácie bola zapísaná hodnota „1“. Táto hodnota je zároveň hodnota parametra „DL“ pre zariadenie ZC RX. Hodnota tohto parametra by mohla dať aj sériová adresa daného zariadenia, teda „SH“ a „SL“.
5. Parameter zariadenia, s ktorým bude daný čip komunikovať - parameter „DL“ sa nastaví na hodnotu „2“.
6. Nastavenie parametra dátovej rýchlosti „BD“ na hodnotu „9600“.
7. Nastavenie digitálnych vstupov - vývod č. 20 sa nastaví ako digitálny vstup. Vývodu č. 20 zodpovedá parameter „D0“. Ten nastavíme na hodnotu „DI“. Ďalej sa nastaví parameter „D1“ na hodnotu „DI“, teda bude používaný ako ďalší digitálny vstup a parameter „D0“ sa nastaví na hodnotu „ADC“ - teda ako analógový vstup [12].

8. Parameter „PR“ sa nastaví na hodnotu „0“ (vypne sa tým interný Pull-up rezistor).
9. Parameter „IT“ sa nastaví na hodnotu „5“ (nastaví sa počet vzoriek, ktoré majú byť načítané pred odoslaním).
10. Parameter „IR“ sa nastaví na hodnotu „14“ hexadecimálne, teda 20 ms.
11. Po nastavení všetkých parametrov je potrebné tieto parametre zapísať do zariadenia pomocou kliknutia na tlačidlo „Write“.

3.3 Konfigurácia Coordinatora

Po nahratí aktuálneho firmvéru a načítaní základnej konfigurácie a jej zapísaní na čip bola konfigurácia tohto zariadenia nastavená nasledovne:

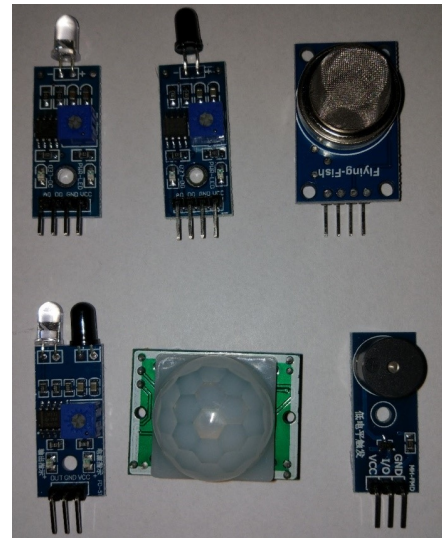
1. Nastavenie parametra „NI“ na hodnotu „C RX“.
2. Nastavenie parametra „CH“ na hodnotu „10“.
3. Nastavenie parametra „ID“ hodnotu „2017“.
4. Nastavenie parametra „MY“ hodnotu „2“.
5. Nastavenie parametra „DL“ „1“.
6. Nastavenie parametra „BD“ na hodnotu „9600“.
7. Nastavenie parametra „D0“ na hodnotu „DO Low“ teda nastavenie vývodu 20 ako digitálny výstup s definovanou hodnotou výstupu logická „0“ alebo „Low“. Pokiaľ zariadenie prijme informáciu zo ED TX, tak sa tento výstup zmení na „High“, teda na logickú „1“.
8. Nastavenie parametra „PR“ na hodnotu „1“ (zapnúre Pull-up rezistora).
9. Nastavenie parametra „IA“ na hodnotu „111“. Prednastavená hodnota je „FFFFFFFFFFFFFFFF“, kde každá pozícia je jeden výstup. Ak je potrebné sledovať všetky pakety, teda všetky výstupy, nastaví sa hodnota „0xFFFF“
10. V prípade, že je potrebné používať analógový výstup, je potrebné nakonfigurovať aj parameter „P0“, pomocou ktorého sa reguluje.
11. Po nastavení všetkých parametrov sa tieto parametre zapíšu do zariadenia pomocou kliknutia na tlačidlo „Write“.

Ďalej bolo potrebné ešte nastaviť výstupný vysielač výkon (maximálny vysielač výkon a minimálny vysielač výkon (lowest) a parameter CE, ktorý určuje, či konfigurované zariadenie bude koordinátorom („1“) alebo koncovým zariadením („0“).

4 Meranie dosahu pri priamej viditeľnosti

Na meranie dosahu sme použili rôzne typy čipov so snímačmi (senzormi), ktoré sú zobrazené na obr. 2 snímač osvetlenia, snímač plameňa, snímač jedovatých látok; dolný rad zľava: infračervený sledovač, PIR senzor a bzuchák.

Pri zisťovaní dosahu jednotlivých snímačov bola zároveň sledovaná stratovosť paketov do vzdialenosti 100 m. Túto vzdialenosť sme považovali za dostatočne veľkú pre väčšinu aplikácií. Testovanie bolo najprv uskutočnené vo



Obr. 2: Použité snímače.

vonkajšom prostredí s priamou viditeľnosťou v obci Šenkvice s minimálnou prevádzkou v pásme 2,4 GHz.

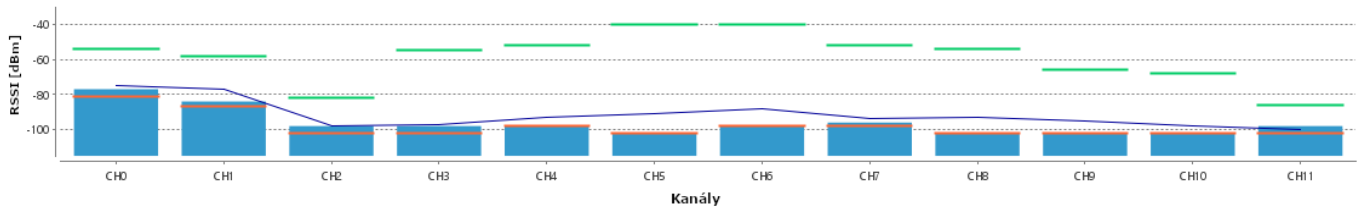
Pomocou programu XCTU v časti „Tools“ – „Spectrum Analyzer“ bolo toto prostredie otestované, výsledná úroveň rušivých signálov je zobrazená na obr. 3. Ako vidíme na tomto obrázku, výkonová úroveň rušivých signálov, ktorá by mohla ovplyvniť výsledky merania v pásme 2,4 GHz, sa pohybovala v rozmedzí 80–90 dBm. V porovnaní s meraniami uskutočnenými vo vnútornom prostredí sú to úrovne, ktoré je z hľadiska rušenia možné viac-menej zanedbať.

V ďalšom kroku bola pomocou programu inSSIDER 4 zameraná znovu úroveň signálov z používaných sietí. Z nameraných výsledkov viz obr. 4 vyplýva, že najväčší vplyv mala sieť s názvom „pionet senkvice H“ a „smig-hot“ s úrovňou signálu -88 dBm.

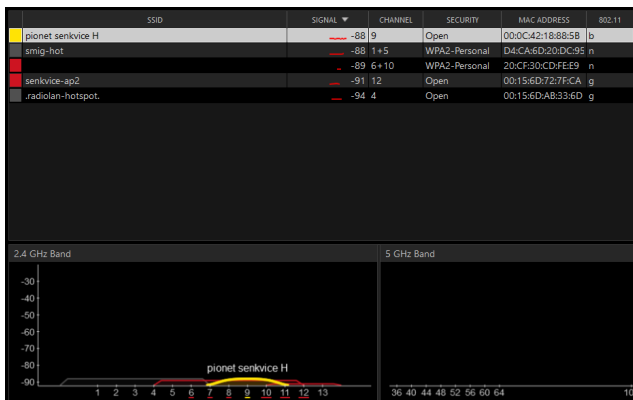
Samotné meranie dosahu prebiehalo vždy medzi dvoma snímačmi Xbee, medzi ktorými sa postupne zväčšovala vzdialenosť po 5 metroch v rozsahu od 0 m až do 100 m.

Aby bolo možné zistiť limitné možnosti testovanej technológie Xbee z hľadiska dosahu, boli obmedzené výkony oboch čipov na minimum. Maximálna vzdialenosť, pri ktorej spojenie ešte fungovalo, bola 86 m. Pri ďalších dvoch meraniach boli výstupné výkony nastavené na maximum a merania sa uskutočnili za tých istých podmienok, ako v predchádzajúcom prípade. Namerané výsledky sú uvedené v tab. 1 a v grafoch viz obr. 5 a 6.

Z nameraných hodnôt pri prvom meraní (pri nastavenom minimálnom výkone meranie č. 1) vyplýva, že s rastúcou vzdialenosťou nám podľa predpokladu výkonová úroveň signálu klesá a po dosiahnutí vzdialenosti 86 m sa spojenie prerušilo, testované snímače teda pri najmenšom vysielačom výkone dokázali komunikovať len do vzdialenosti 85 m. Z nameraných výsledkov tiež vyplýva, že keď sa blížila k hranici dosahu zariadení, začalo dochádzať k strate prenášaných paketov viz tab. 1.

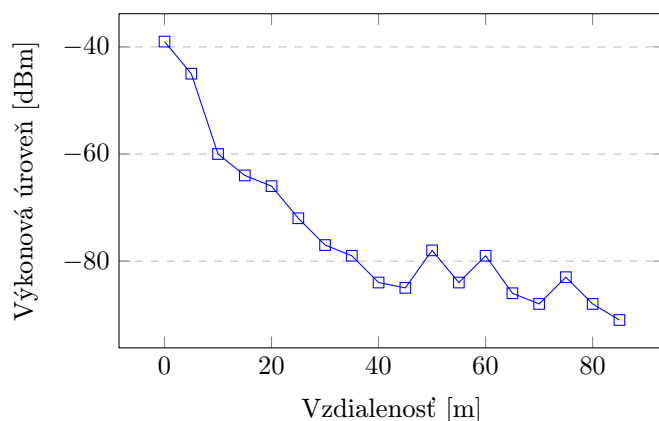


Obr. 3: Spektrálna analýza prostredia pomocou programu XCTU.



Obr. 4: Spektrálna analýza prostredia pomocou programu inSSIDer 4.

V ďalších dvoch meraniach (meranie č. 2 a 3) sme obom čipom Xbee zmenili parameter „PL“ a dovolili sme im vysielat s maximálnym výkonom. Výsledky týchto meraní sú uvedené v tab. 1 a zobrazené v grafe na obr. 6. Rovnako, ako v predchádzajúcom prípade, výkonová úroveň signálu s rastúcou vzdialenosťou klesá. Pri týchto meraniach neboli siete zaznamenané výpadky spojenia, ale sporadicky dochádzalo k strate paketov, pri meraní č. 2 vo vzdialenosti 80 m došlo k strate jedného paketu a pri meraní č. 3 vo vzdialenosti 70 m došlo k strate troch paketov.

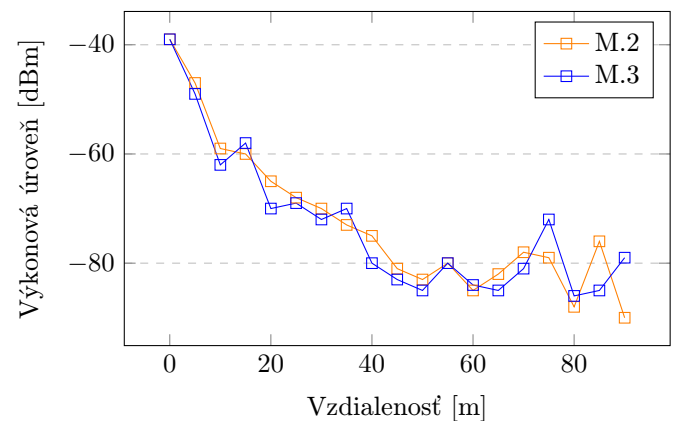


Obr. 5: Meranie č. 1 - závislosť výkonovej úrovne od vzdialenosti realizované pri nastavenom minimálnom výkone.

Meranie prebiehalo takým spôsobom, že na jednej strane domu bol na poschodí umiestnený Coordinator a vybrané

Tab. 1: Výsledky pre mieru priamej viditeľnosti.

Vzdialenosť [m]	Sila signálu [dBm]			Č. prijatého/odoslaného		
	M.1	M.2	M.3	M.1	M.2	M.3
0	-39	-39	-39	10/10	10/10	10/10
5	-45	-47	-49	10/10	10/10	10/10
10	-60	-59	-62	10/10	10/10	10/10
15	-64	-60	-58	10/10	10/10	10/10
20	-66	-65	-70	10/10	10/10	10/10
25	-72	-68	-69	10/10	10/10	10/10
30	-77	-70	-72	10/10	10/10	10/10
35	-79	-73	-70	10/10	10/10	10/10
40	-84	-75	-80	10/10	10/10	10/10
45	-85	-81	-83	10/10	10/10	10/10
50	-78	-83	-85	10/10	10/10	10/10
55	-84	-80	-80	10/10	10/10	10/10
60	-79	-85	-84	10/10	10/10	10/10
65	-86	-82	-85	10/10	10/10	10/10
70	-88	-78	-81	10/10	10/10	7/10
75	-83	-79	-72	10/10	10/10	10/10
80	-88	-88	-86	10/10	9/10	10/10
85	-91	-76	-85	4/10	10/10	10/10
86	-	-90	-79	0/10	10/10	10/10



Obr. 6: Meranie č. 2 a meranie č. 3 závislosť výkonovej úrovne od vzdialenosti realizované pri nastavenom maximálnom výkone.

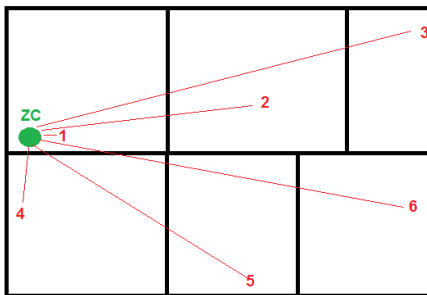
End Device sa premiestňovalo na rôzne miesta v budove a zisťovalo sa, koľko stien dokáže End Device prekonať pri svojej komunikácii s Coordinator-om. Prvé meranie s End Device prebehlo v tesnej blízkosti Coordinator-a (1), druhé meranie malo jednu murovanú stenu ako prekážku (2), tretie meranie dve steny (3). Štvrté meranie malo jednu prekážku, ktorou bola železobetónová podlaha poschodia (4). Na

obr. 7 je možné vidieť náčrt rozmiestnenia miestností a meracích bodov v budove. V tab. 2 sú uvedené namerané hodnoty výkonovej úrovne signálu počet prijatých/odoslaných paketov.

Tab. 2: Meranie dosahu v jednoposchodovej budove.

Počet prekážok	Síla signálu [dBm]	Počet prijatých / odoslaných
vedľa seba (1)	-31	500/500
jedna stena (2)	-54	500/500
dve steny (3)	-74	500/500
železobetónová podlaha (4)	-82	487/500
železobetónová podlaha (4)	-58	500/500
podlaha + 1 stena (5)	-71	500/500
podlaha + 2 steny (6)	-90 / -	24/500

Z uvedených nameraných hodnôt vyplýva, že pri prekonávaní piatich prekážok nastáva veľký problém s komunikáciou. Prekážkou v komunikácii bol nielen použitý materiál (železobetón a tehla), ale aj Wi-Fi prístupové body, ale sme presvedčení, že pri vhodnom umiestnení Coordinatora je možné bez problémov pokryť celú budovu signálom s dostatočne veľkou úrovňou signálu potrebného pre komunikáciu.



Obr. 7: Náčrt rozmiestnenia meracích bodov v budove.

5 Záver

Predmetom tohto príspevku bolo meranie dosahu signálu v sieti využívajúcej technológiu XBee. Poznatky, získané z nameraných hodnôt úrovne signálu medzi snímačmi XBee v otvorenom priestranstve a v budove môžu byť dobrým východiskom pri návrhu prevádzkovania, resp. zabezpečenia tzv. „smart“ domov a budov, v ktorých sa predpokladá využitie technológie XBee, prípadne vytvorenie platformy pre IoT.

Literatúra

[1] Z. Abbas and W. Yoon, “A survey on energy conserving mechanisms for the internet of things: Wi-

reless networking aspects,” *Sensors*, vol. 15, no. 10, pp. 24818–24847, 2015.

- [2] B. L. R. Stojkoska and K. V. Trivodaliev, “A review of internet of things for smart home: Challenges and solutions,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 140, pp. 1454–1464, 2017.
- [3] M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneite, “The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0,” *IEEE industrial electronics magazine*, vol. 11, no. 1, pp. 17–27, 2017.
- [4] S. S. I. Samuel, “A review of connectivity challenges in iot-smart home,” in *2016 3rd MEC International conference on big data and smart city (ICBDSC)*, pp. 1–4, IEEE, 2016.
- [5] A. Sivanathan, D. Sherratt, H. H. Gharakheili, A. Radford, C. Wijenayake, A. Vishwanath, and V. Sivaraman, “Characterizing and classifying iot traffic in smart cities and campuses,” in *2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs)*, pp. 559–564, IEEE, 2017.
- [6] C. Wang, T. Jiang, and Q. Zhang, *ZigBee network protocols and applications*. Auerbach Publications, 2016.
- [7] J. Baca, B. Woosley, P. Dasgupta, and C. A. Nelson, “Configuration discovery of modular self-reconfigurable robots: real-time, distributed, ir+ xbee communication method,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 91, pp. 284–298, 2017.
- [8] *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks Corrigendum 1*. New York, USA: IEEE, 2018.
- [9] “Atmega16u4/atmega32u4,” in *8-bit Microcontroller with 16/32K bytes of ISP Flash and USB Controller, DATASHEET*, (1600 Technology Drive, San Jose, CA 95110 USA), Atmel Corporation, 2015.
- [10] Z. Tomáš and S. Miroslav, *Telekomunikační řešení pro informační systémy sít'ových odvětví*. Grada Publishing as, 2009.
- [11] “Nxp,” in *ZigBee PRO Stack User Guide*, (NXP Laboratories UK), 2014.
- [12] *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks – Amendment 2*. USA: IEEE, 2016.