

doi:10.15199/48.2016.12.52

Badania wpływu bezprzewodowej sieci teleinformatycznej na system pomiarowy pracujący w standardzie ZigBee

Streszczenie. Artykuł przedstawia podstawy teoretyczne współdziałania sieci opartej na standardzie IEEE 802.11b/g popularnie nazywanej WiFi oraz sieci pomiarowej zbudowanej przy użyciu standardu IEEE 802.15.4. W dalszej części opracowania przedstawione zostały pomiary różnych parametrów transmisyjnych pozwalających ocenić wpływ jednej sieci na drugą.

Abstract. Article shows theoretical aspects of coexistence of IEEE 802.11b/g network popular called WiFi on wireless sensor network build with IEEE 802.15.4 standard. In second part of article there were shown measurements of different transmission parameters allowing to evaluate the influence one network to the other. (Investigations of influence the wireless computer network on ZigBee measurement system).

Słowa kluczowe: ZigBee, WiFi, opóźnienia transmisji, współdziałanie sieci bezprzewodowych.

Keywords: ZigBee, WiFi, transmission delays, coexistence of wireless networks.

Wstęp

Rozwój systemów pomiarowych budowanych w oparciu o standardy bezprzewodowe pracujące w paśmie ISM pozwala na zainstalowanie takiej sieci niemal w każdym środowisku. Począwszy od tzw. „smart domu” po hale produkcyjne. Powoduje to, że sieć pomiarowa często pracuje w tych samych obszarach geograficznych co sieć teleinformatyczna [1].

Powszechny dostęp do Internetu powoduje, że w wielu miejscach lokowane są bezprzewodowe punkty dostępowe pracujące ogólnie w standardzie IEEE 802.11 i jego odmianach. Zarówno sieć ZigBee jak i popularnie zwane WiFi pracują na tym samym zakresie fal radiowych (pasmo nielicencjonowane ISM 2,4 GHz). Stwarza to niebezpieczeństwo zakłócenia transmisji sygnałów pomiarowych [2], [3], [4].

W celu oceny tego wpływu należy dokonać odpowiednich pomiarów parametrów transmisyjnych takich jak BER (ang. Bit Error Rate), SINR (ang. Signal to Interference and Noise Ratio), PRR (ang. Packet Reception Ratio), opóźnienie oraz RSSI (ang. Received Signal Strength Indication) i LQI (ang. Link Quality Indicator) [5], [6], [7]. Parametry te pozwalają na ustalenie optymalnych warunków współpracy obu sieci. Ponadto istotnym parametrem, z punktu widzenia przepustowości sieci pomiarowej, jest analiza opóźnień w transmisji pakietów informacji.

IEEE 802.15.4 oraz IEEE 802.11b/g

Zarówno standard IEEE 802.15.4 jak i IEEE 802.11b/g pracuje w paśmie częstotliwości 2,4 GHz. Ogólnie w rodzinie standardów IEEE 802.11 w paśmie 2,4 GHz zdefiniowano 14 nakładających się na siebie kanałów transmisyjnych, natomiast w standardzie IEEE 802.15.4 zdefiniowano 16 kanałów, które na siebie nie zachodzą a ich częstotliwości środkowe są rozdzielone o 5 MHz. Ponadto dla WiFi szerokość pojedynczego kanału wynosi 22 MHz a dla ZigBee 2 MHz [8], [9].

Oba standardy używają mechanizmu dostępu do nośnika CSMA/CA (ang. Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), co oznacza, że używając mechanizmu wykrywania nośnej CS (ang. Carrier Sense) lub wykrywania odpowiedniego poziomu mocy ED (ang. Energy Detection) albo obu jednocześnie, każdy węzeł sieci sprawdza czy medium jest wolne i czy może nadawać. W obu przypadkach dzieje się to w czasie określanym jako CCA (ang. Clear Channel Assigment) [9], [10], [11]. Jednakże, ze względu na duże różnice w mocy

nadawanych sygnałów (co m. in. pokazano w tabeli 1), w środowisku, gdzie sieć komputerowa WiFi działa w sposób ciągły, praktycznie nie istnieje możliwość, aby sieć pomiarowa ZigBee mogła wykryć wolne medium [4], [8], [9].

Tabela 1. Porównanie wybranych parametrów standardu IEEE 802.11b/g oraz 802.15.4

Parametr	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
Moc nadawania, dBm	0	20	20
Pasmo 1 kanału, MHz	2	22	22
Prędkość transmisji, Mbps	25	6	54
Jednostka backoffu	320	20	9
SIFS	-	30 μs	10 μs
DIFS	-	50 μs	28 μs
CCA	128 μs	<15 μs	<4 μs
Początkowa wartość CW	1-32	0-31	0-31
Min. czas trwania pakietu	352 μs	202 μs	194 μs
Max. czas trwania pakietu	4,256 μs	1,906 μs	542 μs

Obie sieci różnią się także parametrami czasowymi. Odcinek czasu, w trakcie którego węzeł nasłuchuje przed rozpoczęciem transmisji dla sieci IEEE 802.11 wynosi maksymalnie 50 μs a dla sieci IEEE 802.15.4 ten czas to 320 μs. Wynika stąd, że węzeł ZigBee potrzebuje znaczenie większego czasu na sprawdzenie zajętości kanału, w tym czasie węzeł WiFi może utworzyć kolejną ramkę danych i ją wysłać.

W tabeli 1 przedstawiono także inne parametry czasowe związane np. z losowym czasem odstąpienia (ang. backoff) węzła od transmisji [9].

Model współdziałania sieci

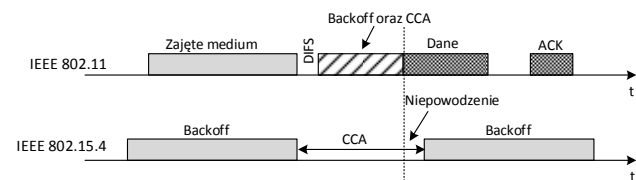
Pakiet danych transmitowany przez sieć pomiarową, przy założeniu ciągłej transmisji w sieci zakłócającej, może zostać przesłany z sukcesem jedynie w dwóch przypadkach. Pierwszy ma miejsce wtedy, gdy pakiety danych IEEE 802.11 i IEEE 802.15.4 nachodzą na siebie, jednak interferencja jest na tyle słaba, że nie powoduje błędnego przesłania pakietu. Ustalono [5], że gdy współczynnik SIR (ang. Signal to Interference Ratio) w kanale transmisyjnym jest większy niż 5 – 6 dB wtedy

pakiet ZigBee może zostać przesłany z 99% pewnością. Drugi przypadek ma miejsce wtedy, gdy czas transmisji pakietu IEEE 802.15.4 jest mniejszy niż czas pomiędzy dwoma następującymi po sobie ramkami przesyłanymi przez sieć zaburzającą IEEE 802.11b/g.

W przypadku, gdy węzły sieci pomiarowej i zakłócającej są blisko siebie (eksperymentalnie otrzymano odległość ok. 20 metrów) wtedy mechanizmy CSMA/CA obu sieci działają poprawnie. Oznacza to, że gdy węzeł WiFi transmittuje dane a węzeł ZigBee sprawdza zajętość kanału, wtedy mechanizm ED daje informację o zajętości pasma i węzeł ZigBee musi poczekać z przesłaniem danych. Krótsze czasy losowego odstąpienia od transmisji dla sieci WiFi powodują, że zarówno pod względem mocy sygnału nadawanego jak i parametrów czasowych ma ona pierwszeństwo w transmisji pakietów [12], [13].

Ponadto modem ZigBee potrzebuje czasu (maksymalnie 192 μ s) od momentu wykrycia wolnego kanału do rozpoczęcia nadawania. Czas ten związany jest z przełączeniem modemu ze stanu odbierania danych na nadawanie. W tym czasie nadajnik WiFi może uznać kanał za wolny i rozpocząć nadawanie. Taka sytuacja będzie skutkować powstaniem interferencji i utratą informacji.

Na rysunku 1 przedstawiono typową sytuację, w której zarówno węzeł ZigBee jak i WiFi starają się uzyskać dostęp do kanału transmisyjnego. Czas sprawdzania kanału CCA dla IEEE 802.15.4 jeszcze się nie zakończył a już nastąpiła kolejna transmisja w sieci teleinformatycznej.



Rys. 1. Rywalizacja o medium pomiędzy WiFi a ZigBee

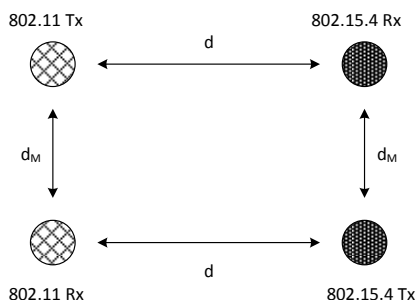
W związku z tym węzeł ZigBee może nadawać tylko, gdy spełniony jest warunek:

$$(1) \quad t_{idle} \geq CCA = DIFS + t_{bo}$$

gdzie: t_{idle} – czas, kiedy kanał transmisyjny jest wolny, DIFS – czas bezczynności kanału, t_{bo} – czas losowego odstąpienia od transmisji (backoff). Więcej danych na temat interferencji między sieciami WiFi oraz ZigBee oraz możliwościami ich współdziałania znajduje się w [14-22].

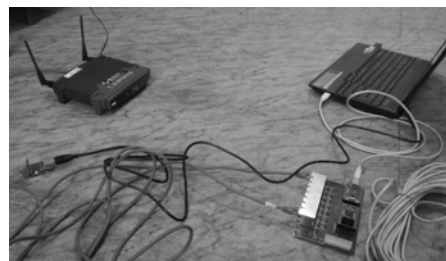
Układ pomiarowy i przeprowadzone badania

Układ pomiarowy (rys. 2) składa się nadajnika i odbiornika sieci teleinformatycznej. W tym przypadku był to komputer przenośny oraz punkt dostępowy i dwa moduły XBee [5] pełniące rolę sieci pomiarowej. Zadaniem modułów XBee jest próba transmisji bajtu danych co 100 ms. Natomiast pomiędzy węzłami WiFi jest realizowana ciągła transmisja segmentów TCP [1].



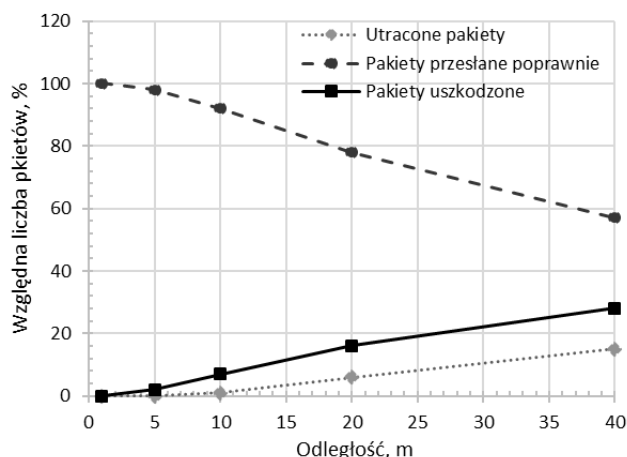
Rys. 2. Idea układu pomiarowego

Urządzenia zostały umieszczone tak, aby odbiornik XBee znajdował się obok nadajnika WiFi. W układzie pomiarowym (rys. 2) istnieje możliwość rozsuwania modemów bezprzewodowych ZigBee od siebie, co pozwala na pomiar parametrów transmisji w zależności od odległości. Ponadto można odsuwać modemy sieci pomiarowej (oba jednocześnie bądź tylko odbiornik) od modemów sieci teleinformatycznej. Wyniki takiego eksperymentu przedstawiono na rysunku 4. Na rysunku 3 przedstawiono zdjęcie układu pomiarowego w trakcie wykonywania badań.



Rys. 3. Układ pomiarowy w trakcie badań

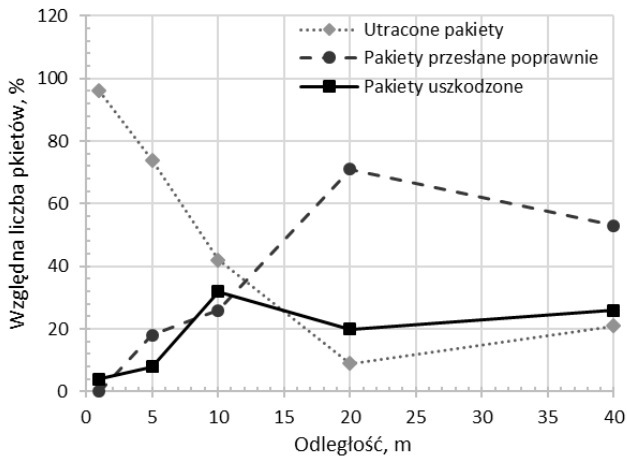
W przypadku braku interferencji ze strony sieci teleinformatycznej względna liczba przesyłanych danych w zależności od odległości na jaką są rozsunięte nadajnik i odbiornik przedstawia się jak na rysunku 4. Dla niewielkiej odległości praktycznie 100% wysłanych danych dociera do odbiornika. Przy odległości około 20 metrów liczba pakietów utraconych wzrasta i dla odległości powyżej 40 metrów tylko połowa pakietów przesyłana jest poprawnie.



Rys. 4. Wyniki pomiarów przy braku interferencji ze strony sieci teleinformatycznej

Pakiety uszkodzone oznaczone na rysunku 4 i 5 to takie, które dotarły do odbiornika jednak ich CRC jest niepoprawne. Zwykle takie pakiety są odrzucane przez moduł bezprzewodowy i traktowane jako utracone, jednak na czas eksperymentu korzystając z możliwości zmiany oprogramowania modułu włączono akceptację takich pakietów [1].

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki eksperymentu z aktywną transmisją w sieci WiFi. W przeciwieństwie do sytuacji zobrazowanej na rysunku B tu liczba pakietów traconych w momencie, gdy odbiornik ZigBee znajduje się blisko nadajnika WiFi jest równa niemal 100%. Oznacza to, że transmisja danych w sieci teleinformatycznej w istotny sposób zaburza transmisję w sieci pomiarowej. Wraz ze wzrostem odległości odbiornika sieci pomiarowej od źródła zaburzenia poprawia się jakość transmisji danych w sieci pomiarowej.



Rys. 5. Wyniki pomiarów w obecności interferencji sieci WiFi

Z rysunku 5 wynika, że wraz ze wzrostem odległości (powyżej 20 metrów) liczba pakietów utraconych stabilizuje się i jest zbliżona do wartości uzyskiwanych dla tej samej odległości w przypadku odsuwania nadajnika od odbiornika ZigBee. Można więc przyjąć, że odległość taka w znaczący sposób zmniejsza prawdopodobieństwo interferencji i uszkodzenia pakietów.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono wynik kolejnego eksperymentu pomiarowego mającego na celu ocenę opóźnień komunikacyjnych powodowanych zaburzeniami aktywnymi. Czas uzyskania dostępu do nośnika to czas mierzony od momentu przesłania danych do modemu radiowego drogą przewodową (np. przez połączenie szeregowo) aż do poprawnego wysłania danych drogą bezprzewodową (fakt ten zgłasza modem mikrokontrolerowi). W przypadku braku zakłóceń zewnętrznych dla użytych modemów czas ten wynosi około 8 ms co pokazano na rysunku 6.

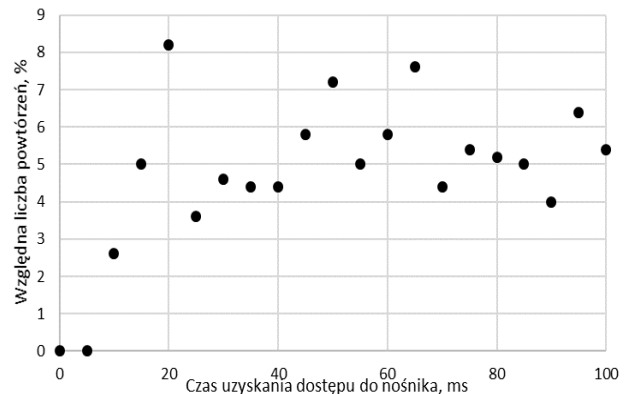


Rys. 6. Rozrzut czasu dostępu do nośnika dla ZigBee przy braku sieci teleinformatycznej

W przypadku, gdy występuje zaburzenie pochodzące z transmisji w sieci teleinformatycznej czas dostępu do nośnika ulega znacznemu wysłużeniu, co pokazano na rysunku 7. Pomiar taki został przeprowadzony, gdy odległość nadajnika WiFi od odbiornika ZigBee była równa 10 m. Dla odległości 1 m większość pakietów jest tracona lub nie ma możliwości ich przesłania, co wykazano wcześniej, dlatego pomiar czasu dostępu w takim przypadku nie jest uzasadniony.

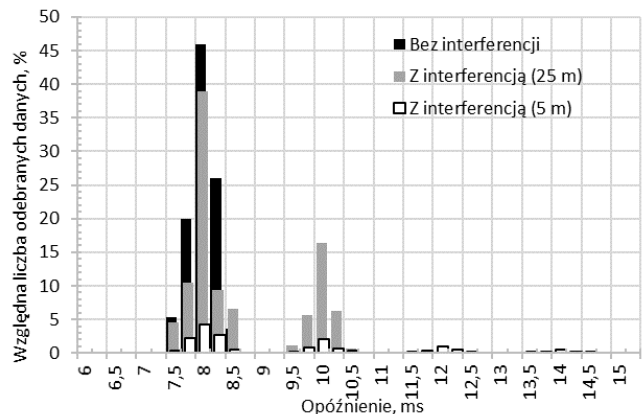
Czas dostępu do nośnika nie może być krótszy od ok. 8 ms, gdyż taki czas jest czasem minimalnym, aby węzeł mógł sprawdzić zajętość kanału, przygotować dane i je wysłać (co wynika z rysunku 6). Natomiast działająca w tle sieć teleinformatyczna powoduje, że wiele pakietów zostaje opóźnionych o 40, 60 a nawet 100 ms, czyli czas

wielokrotnie większy niż w przypadku braku zakłóceń warunkach (gdzie wynosi maksymalnie ok 16 ms).



Rys. 7. Rozrzut czasu dostępu do nośnika dla ZigBee

Dla wybranych odległości (5 m oraz 25 m) nadajnika sieci teleinformatycznej od odbiornika sieci pomiarowej wyznaczono histogramy opóźnień komunikacyjnych. Szczegółowy opis modelu opartego na ciągach funkcji delta można znaleźć w [23-26]. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na rysunku 8, przy czym histogramy zarejestrowane przy zakłóceniach pochodzących od WiFi zostały przesunięte na osi czasu tak, by pierwszy mod histogramu (dla 8 ms) się pokrywał. Ma to na celu lepsze porównanie i czytelność uzyskanego wyniku.



Rys. 8. Histogram opóźnień

Tabela 2 przedstawia wartości liczbowe otrzymane z pomiarów, które w formie histogramów są przedstawione na rysunku 5. Warto zwrócić uwagę, że przy braku interferencji ze strony sieci teleinformatycznej 100% wysłanych danych dociera do adresata już przy pierwszej próbie transmisji. W każdym kolejnym przypadku wymagana jest jej ponowienie nazywane retransmisją [23].

Tabela 2. Podsumowanie transmisji pakietów dla sytuacji z rys. 5

Liczba pakietów	Bez interferencji	Z interf. (25 m)	Z interf. (5m)
LPW	5000	5000	5000
LPO	100%	11%	72%
LPO 1	-	4%	28%
LPO 2	-	2%	-
LPO 3	-	1%	-
LPU	-	82%	-

LPW – liczba pakietów wysłanych,
LPO – liczba pakietów odebranych,
1, 2, 3 – kolejne retransmisje pakietów,
LPU – liczba pakietów utraconych.

Zatem zaburzenia z sieci WiFi mają wpływ nie tylko na czas dostępu do nośnika, ale także na retransmisję danych i liczbę utraconych pakietów, co przedstawiono w tabeli 2.

Podsumowanie

Przeprowadzone testy pokazały, że pracująca sieć WiFi ma wpływ na działanie sieci pomiarowej pracującej w standardzie ZigBee. Efektywna transmisja danych pomiarowych może zajść tylko w przypadku spełnienia warunku (1), który należy zaimplementować do modelu opóźnień komunikacyjnych opartego na ciągach funkcji delta opisanego w [12], [25].

Autorzy:

dr inż. Beata Krupanek, Politechnika Śląska, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: beata.krupanek@polsl.pl;

dr inż. Ryszard Bogacz, Politechnika Śląska, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: ryszard.bogacz@polsl.pl

LITERATURA

- [1] Krupanek B., Bogacz R., Wpływ sieci wifii na parametry transmisyjne sieci pomiarowej działającej w standardzie ZigBee, Materiały konferencji SP 2016, Łagów.
- [2] Han T., Han B., Zhang L., Zhang X., Yang D., Coexistence study for WiFi and ZigBee under smart home scenarios, 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital content (ICNIDC), pp. 669–674, 2012.
- [3] Subbu K., Soman S., An Interference Mitigation Scheme for IEEE 802.15.4 Networks under IEEE 802.11b/g Interference, 5th ICCCNT – 2014, July 11 - 13, 2014.
- [4] Dong P., Zhang Z., Tong F., Experiment based analysis of ZigBee transmissions under severe Wi-Fi interference, Proc. 4th Annual Int. Conf. CYBER, pp. 317–322, 2014.
- [5] Yuan W., Wang X., Linnartz J.P., Niemegeers I., Coexistence Performance of IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks Under IEEE 802.11b/g Interference, Wireless Pers. Comm., 68, 2013.
- [6] Zacharias S., Neue T., Keeffe S., Lewis E., Identifying sources of interference in RSSI traces of a single IEEE 802.15.4 channel, The 8th International Conference on Wireless and Mobile Communications, pp. 408–414, 2012.
- [7] Shin S., Kang J., Park H., Packet Error Rate Analysis of ZigBee under Interferences of Multiple Bluetooth Piconets, Vehicular Technology Conference, pp.1-5, 2009.
- [8] Drew G., Zigbee Wireless Networking, Newnes 2008.
- [9] Gast M., 802.11 Wireless Networks - The Definitive Guide, O'Reilly, 2005.
- [10] 802.15.4TM IEEE Standard for Information technology, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
- [11] Ramachandran, I., Roy, S., Clear channel assessment in energy-constrained wideband wireless networks. *IEEE Wireless Communications Magazine*, 14(3), pp.70–78, 2003.
- [12] Krupanek B., Modelowanie opóźnień transmisji spowodowanych zaburzeniami w sieciach bezprzewodowych w standardzie IEEE 802.15.4. Praca doktorska, Gliwice, 2012.
- [13] Guo P., Cao J., Zhang K., Liu X., Enhancing ZigBee throughput under WiFi interference using real-time adaptive coding, IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), pp. 2858–2866, 2014.
- [14] Rosario G., Gazzarrini G., Giordano S., Tavanti L., Experimental assessment of the coexistence of Wi-Fi, ZigBee, and Bluetooth devices, World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2011 IEEE International Symposium, pp. 1-9.
- [15] Gutierrez J., Winkel L., Callaway Jr. E., Barrett Jr. R., Low-Rate Wireless Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensors With IEEE 802.15.4 3rd Edition, 2011.
- [16] Francisco D., Huang L., Dolmans G., Coexistence of WBAN and WLAN in medical environments, IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), 2009, pp. 1–5.
- [17] Petrova M., Wu L., Mahonen P., Riihijarvi J., Interference measurements on performance degradation between colocated IEEE 802.11 g/n and IEEE 802.15.4 networks, Networking, 2007. ICN'07. 6'th International Conference, pp. 93–93, 2007.
- [18] Shuaib K., Boulmalf M., Sallabi F., Lakas A., Coexistence of ZigBee and LAN - a performance study, Wireless Telecommunications Symposium, pp. 1–6, 2006.
- [19] Croce D., Garlisi D., Giuliano F., Tinnirello I., Learning from errors: Detecting ZigBee interference in WiFi networks, Proc. 13th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOCNET), pp. 158–163, 2014.
- [20] Huang J., Xing G., Zhou G., Zhou R., Beyond coexistence: Exploiting WiFi white space for Zigbee performance assurance, Proc. 18th IEEE Int. Conf. Network Protocols (ICNP), pp. 305–314, 2010.
- [21] Pollin S., Tan I., Hodge B., Chun C., Bahai A., Harmful Coexistence Between 802.15.4 and 802.11: A Measurement-based Study, 2008 3rd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, pp. 1-6, 2008.
- [22] Yi P., Iwayemi A., Zhou C., Developing ZigBee Deployment Guideline Under WiFi Interference for Smart Grid Applications, IEEE Transactions on Smart Grids, 1949-3053, 2003.
- [23] Krupanek B., Bogacz R., Mathematical model of communication delays in wireless networks, *Int. J. Electron. Telecommun.* 2016 vol. 62 no. 1, s. 61-64.
- [24] Krupanek B., Bogacz R., Investigations of wireless transmission model based on delta function in indoor environment, *Int. J. Metrol. Qual. Eng.*, 2016 vol. 7, nr 1, pp. 1-5.
- [25] Jakubiec J., Krupanek B., Probabilistyczny model opóźnień transmisji w jednorodnym systemie bezprzewodowym poddawanym zaburzeniom, *Prz. Elektrot.* 2014 R. 90 nr 11, s.620-22.
- [25] Jakubiec J., Krupanek B., Model of communication delays in wireless networks, Problems and progress in metrology. PPM'15, Kościelisko.