

# Ocena dokładności i powtarzalności pomiaru parametru RSSI w systemach BLE

**Artur ARCIUCH**

Instytut Teleinformatyki i Cyberbezpieczeństwa, Wydział Cybernetyki WAT,  
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
artur.arciuch@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** Systemy kontroli dostępu są powszechnie stosowane w organizacjach. Do kontroli dostępu wykorzystywane są specjalizowane karty oraz czytniki. Wykorzystanie w takich systemach kart oraz czytników wyposażonych w interfejs BLE eliminuje konieczność zbliżenia karty do czytnika w celu uzyskania dostępu do zasobu organizacji. W artykule dokonano oceny użyteczności urządzeń z interfejsem BLE w systemach automatycznej kontroli dostępu, opierającej się na dokładności i powtarzalności pomiaru parametru RSSI.

**SŁOWA KLUCZOWE:** BLE, RSSI, pomiar odległości

## 1. Wprowadzenie

Urządzenia z interfejsami do komunikacji bezprzewodowej są obecnie powszechnie wykorzystywane. Przykładem popularnego interfejsu do komunikacji bezprzewodowej na bliskie odległości: 0 – 10 m<sup>1</sup> jest Bluetooth Low Energy (BLE), w który są wyposażone urządzenia IoT (ang. Internet of Things), w tym urządzenia typu mikrokontroler, czy tzw. znaczniki Bluetooth (ang. beacon). Charakteryzują się one: małą masą i rozmiarami oraz stosunkowo długim czasem pracy i niskim poborem mocy. Są one stosowane do lokalizowania obiektów wewnątrz budynków [1], [2], [9], [10]. Urządzenia typu sensor (nasłuchujące), rozmieszczone w znanej lokalizacji, dokonują pomiaru wartości parametru RSSI (Received Signal Strength Indicator / Index) sygnału generowanego przez urządzenia typu marker (znacznik). Wartość RSSI jest

---

<sup>1</sup> klasa mocy 2 (2,5 mW)

przeliczana na odległość markera od sensora. Lokalizacji obiektu dokonuje się wykorzystując np. metodę triangulacji [1], [2], [4], przy zastosowaniu m.in. urządzeń z interfejsem Bluetooth (BLE w szczególności): Bluetooth beacon, iBeacon, mikrokontroler, smartfon itp. [1], [2], [4], [7], [8].

Systemy nadzoru dostępu do pomieszczeń, te obecnie najczęściej spotykane, wymagają instalacji specjalistycznych urządzeń typu karty i czytniki kart. Użytkownik, w celu wejścia do pomieszczenia musi zbliżyć kartę do czytnika na bardzo bliską odległość. Ta czynność wymaga na ogół użycia jednej dłoni. Ponadto system nadzoru może zarejestrować jedynie informację o dostępie do czytnika.

Prezentowana w artykule propozycja polega na wykorzystaniu w systemie nadzoru dostępu kart nie wymagających bliskiego kontaktu z czytnikami. Użytkownicy wyposażeni są w markery (beacony), pełniące rolę kart, poruszają się w obrębie budynku, w którym rozmieszczone są sensory wykrywające markery i wykonujące pomiary odległości. Sensor przesyła do serwera informacje zawierające m.in. identyfikatory wykrytych markerów oraz odpowiadające im wartości parametrów RSSI. Oprogramowanie serwera, na podstawie informacji uzyskanych z sensorów, dokonuje śledzenia oraz analizy zmian położenia markerów w celu automatycznego przydzielania albo zabrania dostępu do pomieszczeń albo stref, poprzez np. sterowanie zamkami drzwi.

Dokonana w artykule ocena użyteczności urządzeń z interfejsem BLE w systemach automatycznej kontroli dostępu opiera się na ocenie dokładności i powtarzalności pomiaru parametru RSSI.

## 2. Metoda wyznaczania odległości

Przedmiotem prezentowanego w artykule badania był problem wyznaczania odległości pomiędzy urządzeniami z interfejsem BLE w pomieszczeniach budynku (o powierzchni mniejszej niż 25 m<sup>2</sup>). W szczególności celem eksperymentu było zbadanie dokładności i powtarzalności pomiaru wartości parametru RSSI w zależności od użytych egzemplarzy markerów tego samego typu i egzemplarzy sensorów tego samego typu. W przeprowadzonym eksperymencie dokonywano pomiarów odległości między sensorami beetle (DFRobot Beetle ESP32 v2.0<sup>2</sup>) a markerami iNode Beacon<sup>3</sup>.

Metoda wyznaczenia odległości między sensorem, a markerem polegała na pomiarze przez sensor wartości parametru RSSI sygnału markera, a następnie

---

<sup>2</sup> <https://www.dfrobot.com/product-1798.html> (30.09.2021)

<sup>3</sup> <https://inode.pl/iNode-Beacon,p,17> (30.09.2021)

wyznaczeniu odległości w funkcji RSSI. Parametr RSSI jest określany jako wskaźnik poziomu sygnału odbieranego przez urządzenie bezprzewodowe. Na potrzeby obliczania zależności RSSI od odległości między antenami markera i sensora przyjęto model wykładniczy [2], [5] opisany równaniem (1):

$$RSSI(d) = RSSI(d_0) - n \cdot 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right), \quad (1)$$

gdzie:

$d_0$  – odległość odniesienia,

$RSSI(d_0)$  – wartość RSSI zmierzona w odległości  $d_0$ ,

$d$  – odległość pomiaru,

$RSSI(d)$  – wartość RSSI zmierzona w odległości  $d$ ,

$n$  – odległościowy współczynnik tłumienia (PLE – ang. path loss exponent).

Parametr  $n$  zależy od propagacji sygnału w danym otoczeniu. Przyjmuje się [6], że w budynkach mieszkalnych i biurowych  $n \in \langle 1,6,6 \rangle$ .

Po przekształceniu zależności (1) uzyskuje się następującą zależność do wyznaczenia wartości odległości [2]:

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{RSSI(d_0) - RSSI(d)}{10 \cdot n}}. \quad (2)$$

Zależność (1) można zapisać w następującej postaci:  $y = A + Bx$ , gdzie  $A$  charakteryzuje wartość parametru RSSI dla odległości  $d_0$ , a  $B$  – wartość  $n$  określającą warunki propagacji sygnału w środowisku w jakim dokonywano pomiarów (tzw. PLE). Po wykorzystaniu tych oznaczeń zależności (1) oraz (2) przyjmą odpowiednio postać:

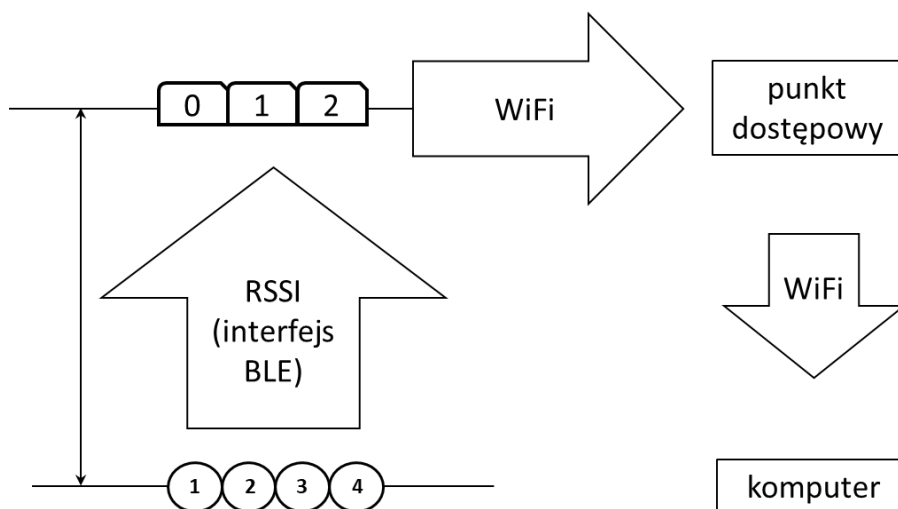
$$RSSI(d) = A + B \cdot 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right), \quad (3)$$

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{RSSI(d) - A}{10 \cdot B}}. \quad (4)$$

Schemat stanowiska pomiarowego zaprezentowano na rysunku 1. Stanowisko składało się z trzech sensorów beetle (0, 1, 2 – oznaczone przez trzy prostokąty z liczbami w środku), czterech markerów iNode (1, 2, 3, 4 – oznaczone przez cztery okręgi z liczbami w środku), punktu dostępowego oraz komputera. Utworzono grupę złożoną z trzech sensorów oraz grupę złożoną z czterech

markerów. Elementy grup ułożono wzdłuż dwóch linii, obok siebie, a grupy względem siebie ułożono równolegle. Odległość była ustalana między grupami. Z uwagi na niewielkie rozmiary elementów uznano, że takie ułożenie elementów nie będzie miało istotnego wpływu na dokładność pomiaru.

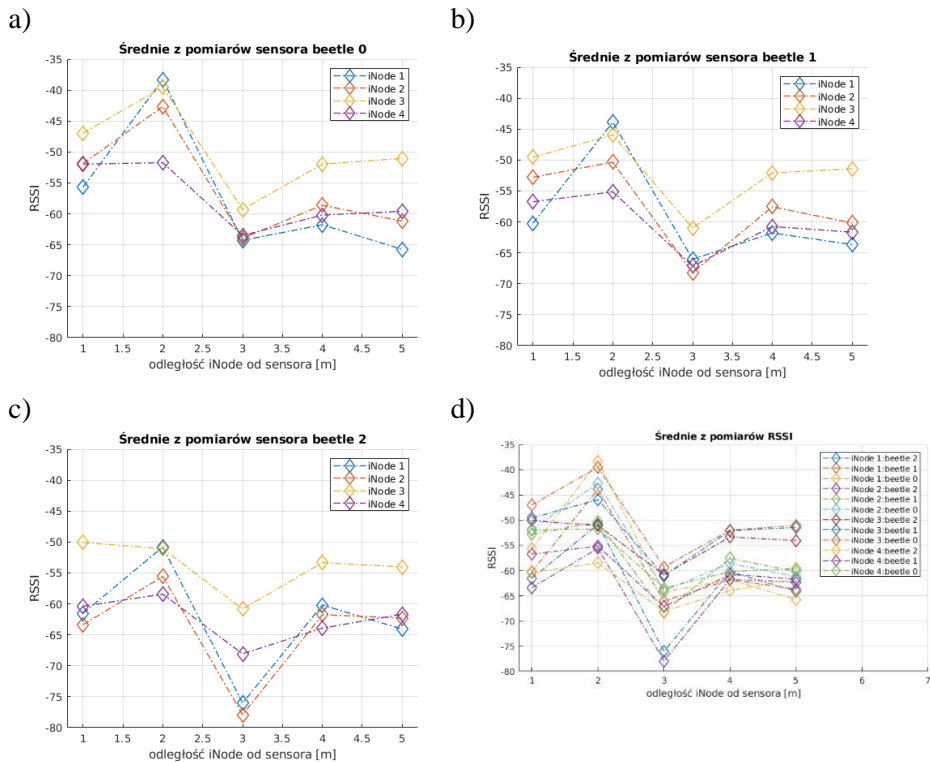
Pomiar polegał na ułożeniu grup w określonej odległości względem siebie. Następnie sensory dokonywały pomiaru wartości parametru RSSI generowanego przez markery. Częstotliwość pomiaru, dla każdego sensora wynosiła 0,1 Hz. Wynik pomiaru uzyskany z interfejsu BLE sensora, opatrzony identyfikatorem sensora i identyfikatorem markera był przesyłany, za pośrednictwem sieci WiFi, do aplikacji działającej na komputerze, gdzie był rejestrowany. Dla zadanej odległości wykonywano dwieście pomiarów wartości parametru RSSI przez każdy sensor dla każdego markera. Pomiar przeprowadzono dla odległości 1, 2, 3, 4, 5 m, między grupami.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe

### 3. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zaprezentowano na wykresach (rysunek 2). Wykresy 2a) - 2c) pokazują uśrednione wyniki pomiarów wartości parametru RSSI uzyskiwane przez dany sensora, a wykres 2d) – wyniki pomiarów dla wszystkich sensorów.



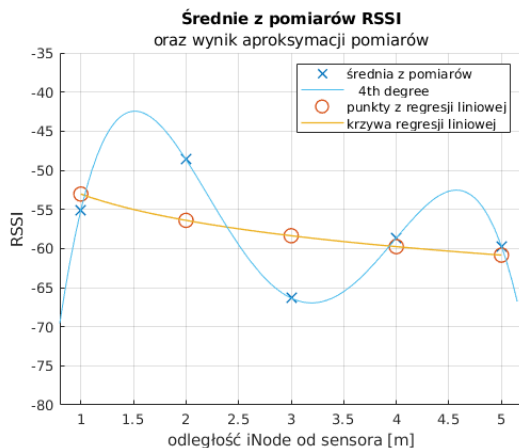
Rys. 2. Uśrednione wyniki pomiarów wartości parametru RSSI uzyskiwane sensory: beetle 0 (a), beetle 1 (b), beetle 2 (c), wszystkie (d)

Wyniki pomiarów uśredniono oraz poddano aproksymacji metodą regresji liniowej dla zależności (3) oraz przy wykorzystaniu narzędzia Matlab: basic fitting dla aproksymacji wielomianem czwartego stopnia. Uzyskane zależności opisano, odpowiednio, funkcjami (4) i (5):

$$RSSI(d) = -53.0397 - 1.1171 \cdot 10 \cdot \log_{10} \cdot \left(\frac{d}{d_0}\right), \quad (4)$$

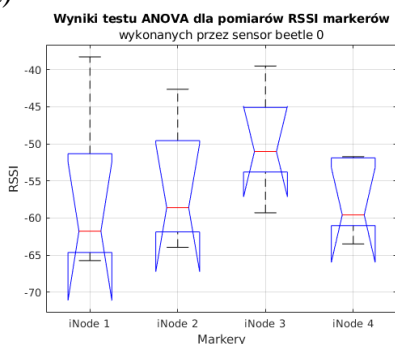
$$RSSI(d) = -3.491d^4 + 43.18d^3 - 183d^2 + 308.3d - 219.2. \quad (5)$$

Wyniki uśrednionych pomiarów oraz przebiegi funkcji – wyników aproksymacji pomiarów pokazano na rysunku 3. Na rysunku 4 zaprezentowano rezultaty porównania zgodności wyników uzyskiwanych przez różne sensory dla różnych markerów. Do porównania zastosowano wariant metody ANOVA (ang. Analysis of Variance) zwany jednoczynnikową analizą wariancji. Metoda służy do badania obserwacji, które zależą od jednego czynnika (w rozważanych przypadku, tym czynnikiem jest wartość mierzonego parametru RSSI). Wynikiem działania metody jest prawdopodobieństwo, z jakim mierzona wartość RSSI jest powodem różnic między obserwowanymi średnimi grupowymi.

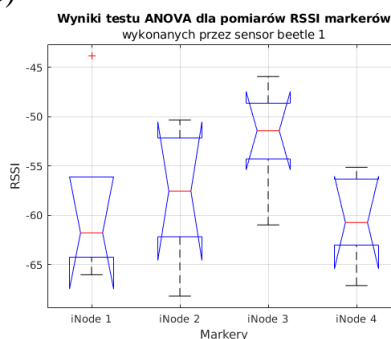


Rys. 3. Wyniki aproksymacji uśrednionych wyników pomiarów wartości RSSI

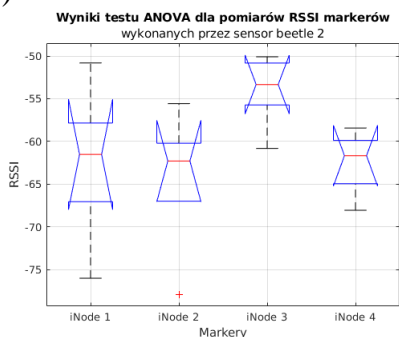
a)



b)



c)



d)

$$p(\text{beetle } 0) = 0,4559$$

$$p(\text{beetle } 1) = 0,2492$$

$$p(\text{beetle } 2) = 0,1063$$

Rys. 4. Wyniki jednoczynnikowego testu ANOVA dla wartości parametru RSSI mierzony przez sensor: beetle 0 (a), beetle 1 (b), beetle 2 (c) oraz wyniki działania metody ANOVA (d)

Uzyskane rezultaty – wartości prawdopodobieństw dla sensorów beetle0, beetle1 oraz beetle2, pokazane na rysunku 4d, wskazują na różnice w wynikach pomiarów dla poszczególnych sensorów.

**Tab. 1. Porównanie wyników pomiarów parametru RSSI dla par markerów – wyniki były rejestrowane przez sensor beetle 0**

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>p</i>
iNode 1	iNode 2	0,9917
iNode 1	iNode 3	0,5170
iNode 1	iNode 4	1,0000
iNode 2	iNode 3	0,6850
iNode 2	iNode 4	0,9872
iNode 3	iNode 4	0,4908

**Tab. 2. Porównanie wyników pomiarów parametru RSSI dla par markerów – wyniki były rejestrowane przez sensor beetle 1**

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>p</i>
iNode 1	iNode 2	0,9895
iNode 1	iNode 3	0,3636
iNode 1	iNode 4	0,9924
iNode 2	iNode 3	0,5311
iNode 2	iNode 4	0,9356
iNode 3	iNode 4	0,2436

**Tab. 3. Porównanie wyników pomiarów parametru RSSI dla par markerów – wyniki były rejestrowane przez sensor beetle 2**

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>p</i>
iNode 1	iNode 2	0,9794
iNode 1	iNode 3	0,2180
iNode 1	iNode 4	1,0000
iNode 2	iNode 3	0,1133
iNode 2	iNode 4	0,9783
iNode 3	iNode 4	0,2205

W tabelach 1, 2, i 3 pokazano rezultaty porównania wyników pomiarów parametru RSSI dla par markerów (kolumny *A* i *B* opisywały parę markerów, kolumna *p* – wartość określająca podobieństwo wyników), uzyskane za pomocą

metody jednoczynnikowej analizy wariancji – wyniki były rejestrowane odpowiednio przez sensory: beetle 0, beetle 1 i beetle 2. Wartości w kolumnie  $p$  bliskie 1 oznaczają zbliżone wartości pomiarów parametru RSSI.

#### 4. Wnioski

Stanowisko pomiarowe może stanowić szkielet systemu automatycznej kontroli dostępu. Z wyników pomiarów wynika, że parametr RSSI, dla wykorzystanych do badań sensorów i markerów przyjmuje wartości z przedziału (-80, -40), a wartości średnie z pomiarów – (-62, -53). Częstotliwość pomiarów dokonywanych przez sensor wynosiła 0,1 Hz. Szare wiersze w tabelach 1, 2 i 3 oznaczają, że pomiary wartości parametru RSSI dla zaznaczonych par markerów są bardzo zbliżone. Takie zbliżone wyniki zostały uzyskane przez wszystkie sensory dla wszystkich markerów.

Wyniki pomiarów wskazują, że aby zwiększyć dokładność wyznaczenia odległości na podstawie pomiaru wartości parametrów RSSI, z wykorzystaniem użytych w eksperymentach urządzeń, należy dokonać kalibracji każdej pary sensor – marker niezależnie, w fazie instalacji systemu.

#### Literatura

- [1] CHAI S., AN R., DU Z., *An Indoor Positioning Algorithm Using Bluetooth Low Energy RSSI*. International Conference on Advanced Material Science and Environmental Engineering (AMSEE 2016), 2016.
- [2] THALJAOU A., VAL T., NASRI N., BRUBLIN D., *BLE localization using RSSI measurements and iRingLA*. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Seville, Spain, 2015, pp. 2178-2183,.
- [3] JIN R., CHE Z., XU H., WANG Z., WANG L., *An rssi-based localization algorithm for outliers suppression in wireless sensor networks*. Wireless Networks, vol. 21, no. 8, 2015, pp. 2561-2569.
- [4] WANG Y., YANG X., ZHAO Y., LIU Y., CUTHBERT L., *Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods*. 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2013, pp. 837-842,.
- [5] STUTZMAN W.L., THIELE G.A., *Antenna Theory and Design*. 3rd Edition, 2012.
- [6] RAPPAPORT T.S., *Wireless Communications: Principles & Practice*. 2<sup>nd</sup> ed, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2001.



- [7] ARCIUCH A., *Testing The Ability of Smartphones to Locate Devices With A Bluetooth Interface*. Proceedings of the 37th International Business Information Management Association (IBIMA), 30-31 May 2021, Cordoba, Spain, 2021,.
- [8] HEYN R. et al., *User Tracking for Access Control with Bluetooth Low Energy*. IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), 2019, pp. 1-7.
- [9] HUH J.H., SEO K., *An Indoor Location-Based Control System Using Bluetooth Beacons for IoT Systems*. Sensors 2017, 17(12), 2917.
- [10] RIDA M.E., LIU F., JADI Y., ALGAWHARI A.A. ASKOURIH A., *Indoor Location Position Based on Bluetooth Signal Strength*. 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering, 2015, pp. 769-773.

### **Evaluation of the accuracy and repeatability of the RSSI parameter measurement in BLE systems**

Abstract: Access control systems are widely used in organizations. Specialized cards and readers are used to control access. The use of cards and readers equipped with a BLE interface in such systems eliminates the need to bring the card closer to the reader in order to access the organization's resource. The paper evaluates the usability of devices with the BLE interface in automatic access control systems, based on the accuracy and repeatability of the RSSI parameter measurement.

Keywords: BLE, RSSI, distance measurement

*Praca wpłynęła do redakcji: 7.10.2021 r.*

