 <b>Flotyła Sokólska</b>	<b>Protokół badawczy metody trilateracji przy użyciu BLE</b>			Data wystawienia: 26/07/2021	
				Doc#	3/CZB/003
	Nr wniosku NCBR:	POIR.01.01.01-00- 0196/19	Nazwa projektu:		Smart Yacht
	Rozpoczęcie testów:	22-07-2021	Zakończenie testów:	26-07-2021	

## 1. Cel badania

Celem badania jest określenie dokładności wyznaczania pozycji metodą trilateracji przy użyciu mocy sygnału BLE (Bluetooth Low Energy). W założeniu jest uzyskanie lokalizacji nadajnika iBeacon z dokładnością do 60cm na płaszczyźnie poziomej, równoległej do powierzchni wody.

## 2. Metodologia wyznaczania dystansu z mocy sygnału

RSSI (ang. Received signal strength indicator) jest wartością mocy odbieranego przez skaner sygnału. Jego siła jest uzależniona od mocy nadawania transmitera, oraz odległości. Trzeba również zaznaczyć, że na RSSI silnie wpływają również takie czynniki jak absorpcja, interferencja czy dyfrakcja. Niebagatelny wpływ mają również wszelkie fizyczne przeszkody. RSSI ma zatem silną tendencję do fluktuacji.

Do obliczenia dystansu oprócz RSSI potrzebna będzie przede wszystkim wartość referencyjna- RSSI odbierane z odległości jednego metra. Wzór uwzględnia także obecność czynnika środowiskowego który może wpływać na wzmocnienie bądź osłabienie odbieranego sygnału. Czynniki środowiskowe mogą przyjmować wartość od 2 do 4.

$$L = 10^{\left(\frac{(Ref - RSSI)}{(10 * N)}\right)}$$

Gdzie:

L- dystans

Ref- moc odbieranego sygnału z odległości 1 metra

RSSI- moc bieżącego sygnału

N- współczynnik środowiskowy

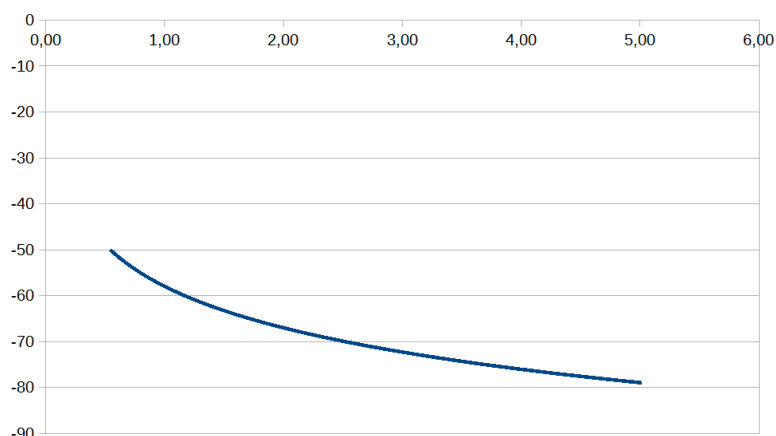


Figura 1: Zależność RSSI od dystansu

Wykonane zostało badanie mające na celu sprawdzenie RSSI z odległości jednego metra w zależności od mocy nadawania taga dla wybranych mocy. Badanie odbywało się w pomieszczeniu, pomiędzy tagiem a odbiornikiem nie znajdowały się żadne przeszkody. **Stwierdzono znaczne pływanie RSSI w zakresie +/- 7dBm**, zatem została wyciągnięta średnia arytmetyczna z 13 pomiarów dla prostopadłego oraz równoległego ustawienia anteny. Na ich podstawie została przyjęta referencja- ostatnia kolumna tabeli.

Moc nadawania[dBm]	Średnia dla ustawienia prostopadłego	Średnia dla ustawienia równoległego	Przyjęta wartość
-18	-87	-85	-86
-10	-71	-69	-70
+6	-57	-57	-57
+8	-53	-52	-52

Przykładowe wahania odczytu RSSI przy stałym dystansie i niezmiennych warunkach otoczenia:

Odległość: 2m

59	60	62	60	61	63	64	65	63	65	57	59	61	64	62	64
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

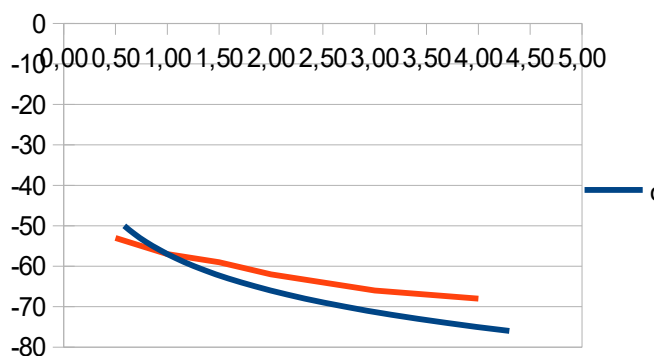
Do dalszych testów wybrano moc +6dBm – gwarantuje ona wystarczający zasięg z zapasem.

Dokonane zostały pomiary referencyjne w celu ustalenia czynnika środowiskowego. Dokonano po 13 pomiarów na wybranych odległościach i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Czynniki środowiskowy został ustawiony na 2- zapewnia to najwierniejsze odtworzenie dystansu zmierzonego

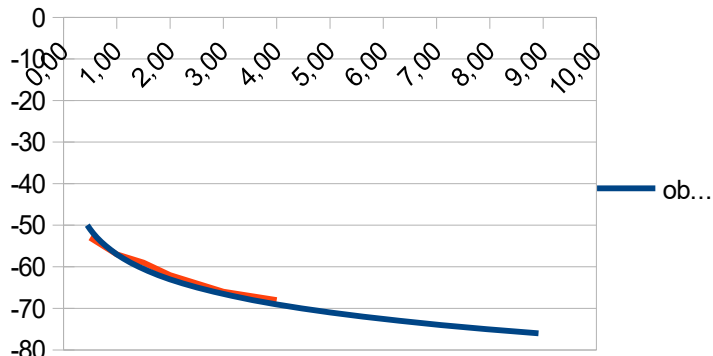
RSSI	Dystans Obliczony z RSSI[m]	Dystans zmierzony[m]	Błąd
-53	0,63	0,5	-0,16
-57	1	1	0
-59	1,26	1,5	0,24
-62	1,78	2	0,22
-66	2,82	3	0,18
-68	3,55	4	0,45

Poniższe wykresy przedstawiają zależność RSSI od dystansu wartości z powyżej tabeli (linia pomarańczowa) w odniesieniu do odliczonej wartości (linia niebieska) dla różnego ustawienia czynnika środowiskowego

Figura



Figura



### 3. Metodologia wyznaczania pozycji z dystansu

Został stworzony wirtualny model układu współrzędnych, o początku w punkcie 0,0.

Wyznaczono 3 punkty pomiaru pozycji, oznaczone jako A, B, C o współrzędnych podanych w tabeli poniżej. Będą to punkty, pomiędzy którymi będzie przenoszony skaner w celu odczytu mocy sygnału z każdego z tych miejsc.

	A	B	C
X	0	165	82,5
Y	0	0	-260

Zastosowano metodę trilateracji wyznaczającą położenie obiektu w danym układzie współrzędnych.

Wymaga to obliczenia współczynników równania opisanych jako A-F:

$$A = 2 \cdot x_b - 2 \cdot x_a$$

$$B = 2 \cdot y_b - 2 \cdot y_a$$

$$C = r_a^2 - r_b^2 - x_a^2 + x_b^2 - y_a^2 + y_b^2$$

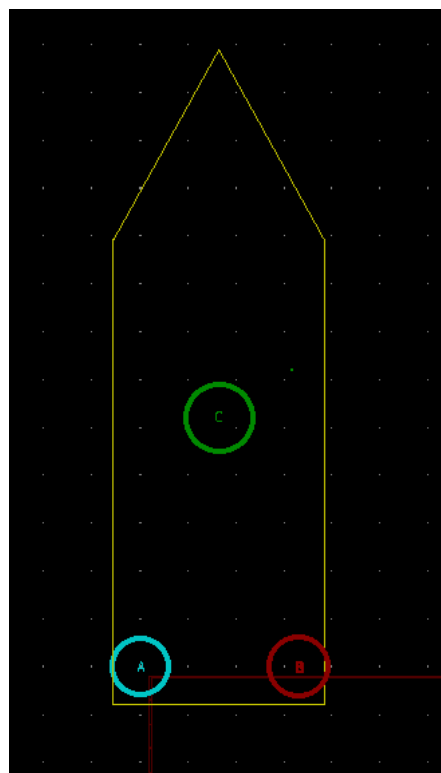


Figura 4: Graficzne przedstawienie układu współrzędnych

$$D = 2 \cdot x_c - 2 \cdot x_b$$

$$E = 2 \cdot y_c - 2 \cdot y_b$$

$$F = r_b^2 - r_c^2 - x_b^2 + x_c^2 - y_b^2 + y_c^2$$

gdzie:

$x_a$  – współrzędna X punktu A

$x_b$  – współrzędna X punktu B

$x_c$  – współrzędna X punktu C

$y_a$  – współrzędna Y punktu A

$y_b$  – współrzędna Y punktu B

$y_c$  – współrzędna Y punktu C

$r_a$  – promień zasięg mierzony z punktu A

$r_b$  – promień zasięg mierzony z punktu B

$r_c$  – promień zasięg mierzony z punktu C

A następnie są obliczane współrzędne punktu nadającego:

$$X = (CE - FB) / (EA + BD)$$

$$Y = (CD - AF) / (BD - AE)$$

Powyższa metoda została przetestowana wirtualnie dla kilku przypadków:

1. Wszystkie okręgi przecinają się w jednym punkcie

Promienie:

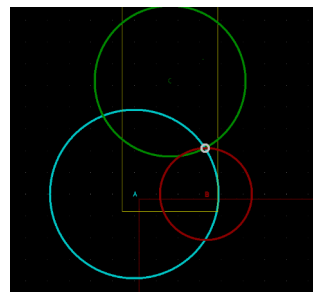
A 194

B 105

C 173

Obliczona pozycja:

X 163, Y -106



2. Dwa okręgi przecinają się

Promienie:

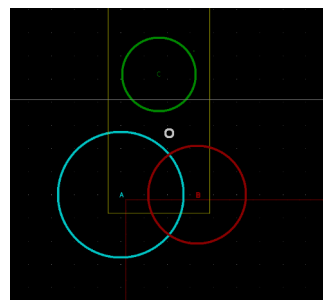
A 136

B 106

C 79

Obliczona pozycja:

X 105, Y -133



---

3. Okręgi nie przecinają się

Promienie:

A 63

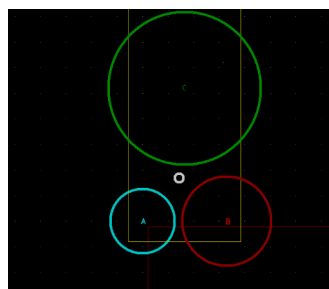
B 87

C 150

Obliczona pozycja:

X 72, Y -85

---



4. Wszystkie okręgi zachodzą na siebie

A 225

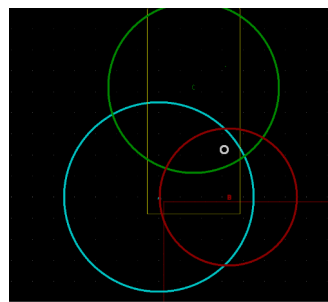
B 163

C 202

Obliczona pozycja:

X 155, Y-113

---



5. Okrąg A wewnątrz okręgu B

A 79

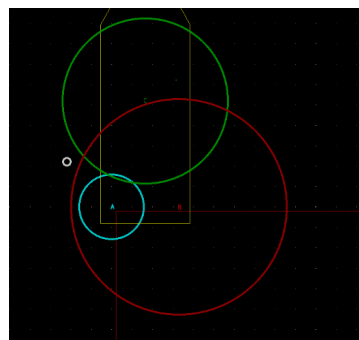
B 264

C 202

Obliczona pozycja:

X -110, Y-111

---



6. Okręgi przecinające się pod ostrym kątem (lokalizowany punkt znacznie oddalony od punktów skanowania)

A 439

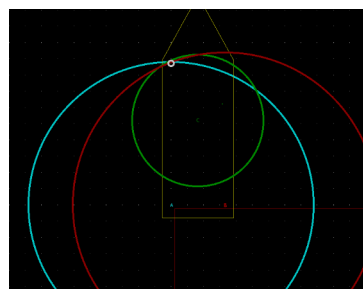
B 469

C 202

Obliczona pozycja:

X 0, Y -435

---



Stwierdzono poprawność metody trilateracji w przykładach wirtualnych.

#### 4. Badanie precyzji i dokładności pomiaru pozycji

W układzie współrzędnych wyznaczono punkty w których będzie umieszczany tag w celu lokalizacji. Punkty te mają znane współrzędne aby móc określić dokładność i precyzję pomiaru.

	P1	P2	P3	P4	P5
x	82,5	82,5	165	0	0
y	0	-120	-190	-260	-400

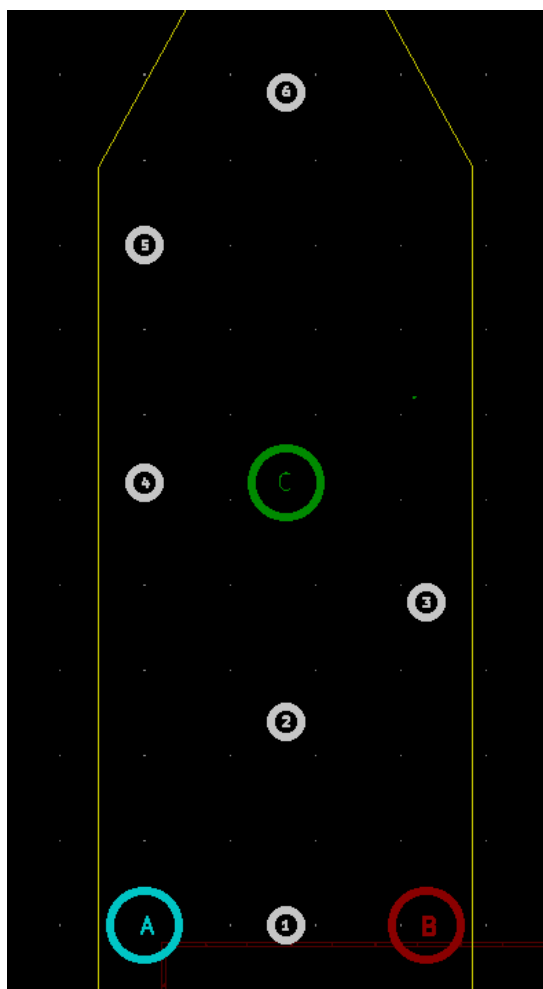


Figura 5:

Graficzne przedstawienie

---

### P1

Zasięgi:

A -65dBm → 185cm

B -50dBm → 58cm

C -60dBm → 251cm

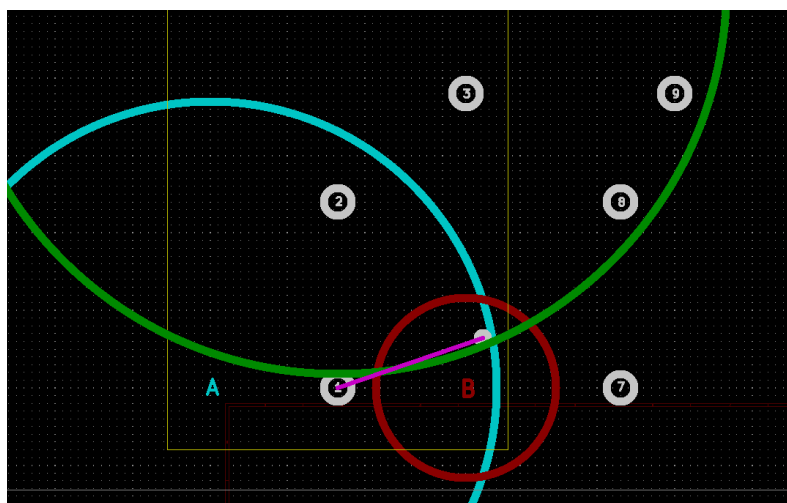
Obliczona Pozycja:

X 176

Y -32

Odchył:

99cm



---

### P2

Zasięgi:

A - 59dBm → 117cm

B - 55dBm → 86cm

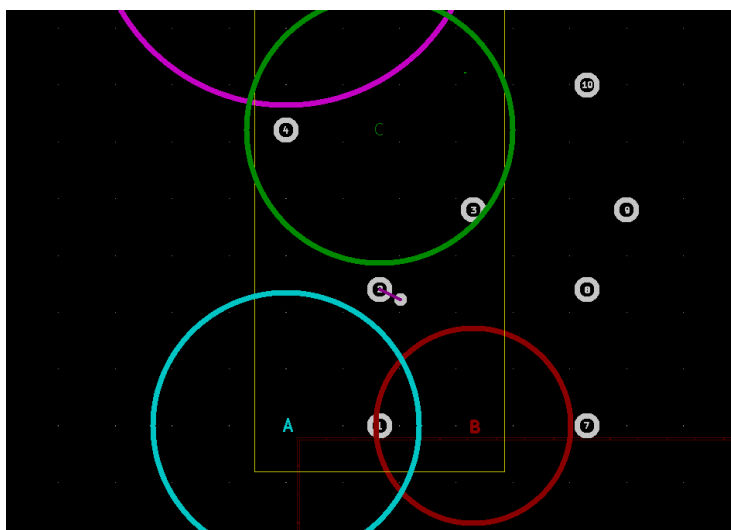
C – 59dBm → 117cm

Obliczona Pozycja:

X 101

Y -111

Odchył: 21cm



---

### P3

Zasięgi:

A – 62 → 147cm

B – 58 → 108cm

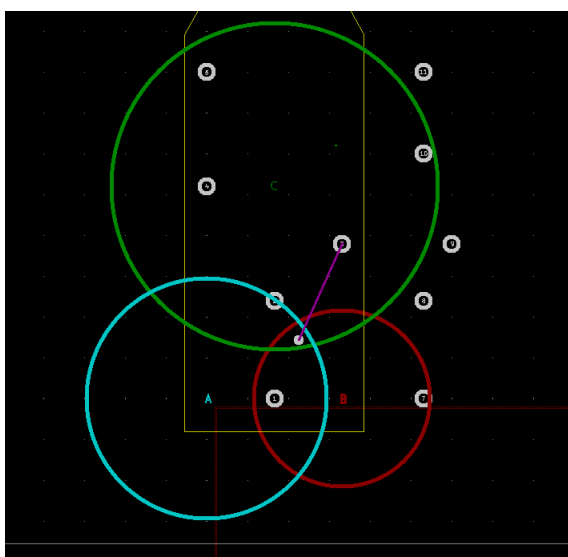
C -66 → 200 cm

Obliczona Pozycja:

X 112

Y -72

Odchył: 129cm



---

#### **P4**

Zasięgi:

A – 57dBm → 100cm

B – 62dBm → 147cm

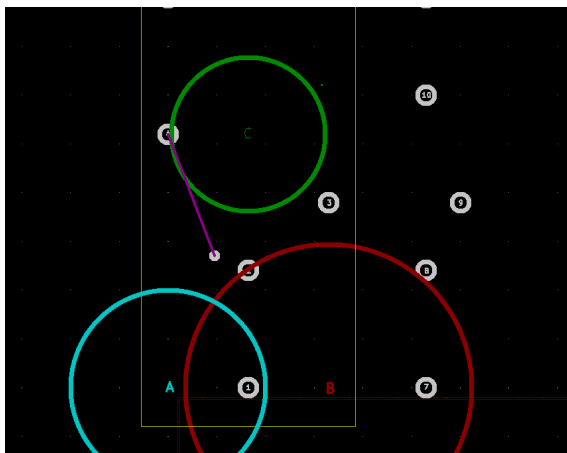
C – 54 → 79cm

Obliczona Pozycja:

X 48

Y -135

Odchył: 134cm



---

#### **P5**

Zasięgi:

A – 64dBm → 171cm

B – 62dBm → 147cm

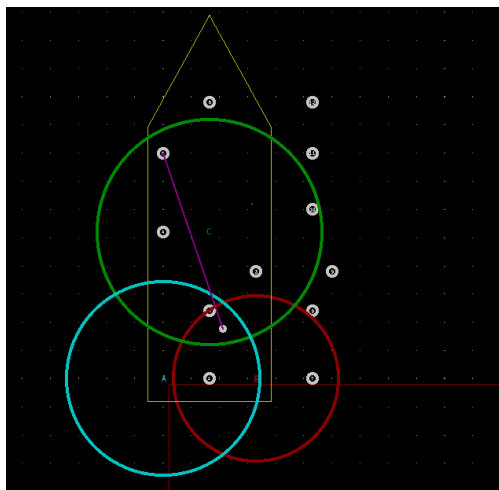
C – 66dBm → 200cm

Obliczona Pozycja:

X 106

Y -89

Odchył: 329cm



---

#### **P6**

Zasięgi:

A – 68dBm → 233cm

B – 75dBm → 398cm

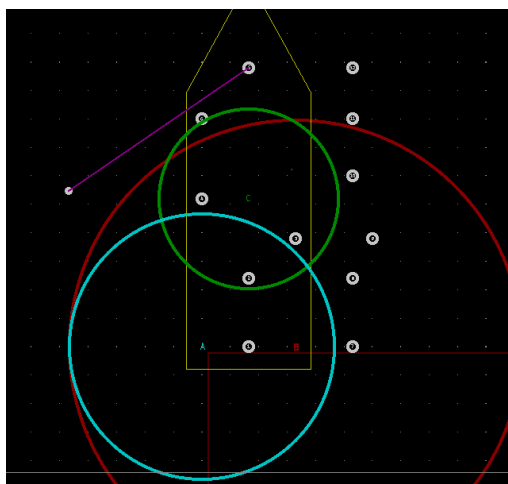
C – 63dBm → 158cm

Obliczona Pozycja:

X -234

Y -273

Odchył: 384cm





## 5. Wnioski

Ze względu na duże wahania mocy sygnału wynikające z występujących przeszkód tj laminat łodzi, maszt, ciało człowieka a także pływanie mocy sygnału przy niezmiennych warunkach precyzja pomiaru odległości nie jest wystarczająca do trilateracji z wymaganą dokładnością do 50cm.

Wykonał: Bartosz Prac