 Flotyła Sokólska	Protokół badawczy metody trilateracji przy użyciu UWB			Data wystawienia: 08/11/2021	
				Doc#	3/CZB/005
	Nr wniosku NCBR:	POIR.01.01.01-00- 0196/19	Nazwa projektu:		Smart Yacht
	Rozpoczęcie testów:	02-09-2021	Zakończenie testów:	8-11-2021	

1 Cel badania

Celem badania jest określenie dokładności wyznaczania pozycji metodą trilateracji przy użyciu metody ToF- Time of Flight oraz modułów komunikacji UWB- Ultra Wide Band. W założeniu jest uzyskanie lokalizacji Respondera UWB z dokładnością do 60cm na płaszczyźnie poziomej, równoległej do powierzchni wody.

2 Metodologia wyznaczania dystansu na podstawie ToF

W badaniu użyte zostały dwa układy prototypowe do komunikacji UWB- Inicjator oraz Responder. Inicjator rozpoczyna transmisję danych wysyłając ramkę oraz oczekując odpowiedzi respondera.

Responder po odebraniu danych sprawdza ich poprawność, porównując ramkę z własnym wzorcem. Po zweryfikowaniu poprawności z modułu UWB zostaje pobrany stempel czasowy odebranych danych, a następnie zostaje policzony czas transmisji wiadomości, oraz znacznik czasu odpowiedzi. Obie wartości zostają przekazane do bufora nadawania

Inicjator odbiera ramkę zwrotną zawierającą stempel czasowy nadania i odbioru, a następnie liczy czas lotu ramki. Mnożąc go przez prędkość światła otrzymuje dystans od respondera.

Wykonane zostało badanie mające na celu sprawdzenie dokładności oraz precyzji pomiaru odległości.

Dla odległości 1, 2 oraz 3m zostało pobrane 10 kolejnych pomiarów, przedstawione poniżej w centymetrach.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1m	86	78	81	85	88	78	84	82	78	80

2m	187	186	195	194	189	193	196	197	204	191
3m	291	280	281	282	277	283	288	282	283	280

Rozdzielczość pomiaru wynosi 1cm.

Precyzja pomiaru- różnica pomiędzy najniższą(czerwona) a najwyższą(niebieska) zarejestrowaną wartością:

Dla 1m- 8cm

Dla 2m- 18cm

Dla 3m- 14cm

Dokładność pomiaru- największy odchył pomiędzy zmierzoną wartością a rzeczywistym dystansem:

Dla 1m- 22cm

Dla 2m- 14cm

Dla 3m- 23cm

Zaokrąglając najgorsze wyniki do decymetra w górę otrzymuję precyzję 20 cm oraz dokładność 30cm w warunkach laboratoryjnych i przy braku fizycznych przeszkód.

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, symulując 3 różne położenia.

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

Zastosowano metodę trilateracji wyznaczającą położenie obiektu danym układzie współrzędnych.

Wymaga to obliczenia współczynników równania opisanych jako F:

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

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

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

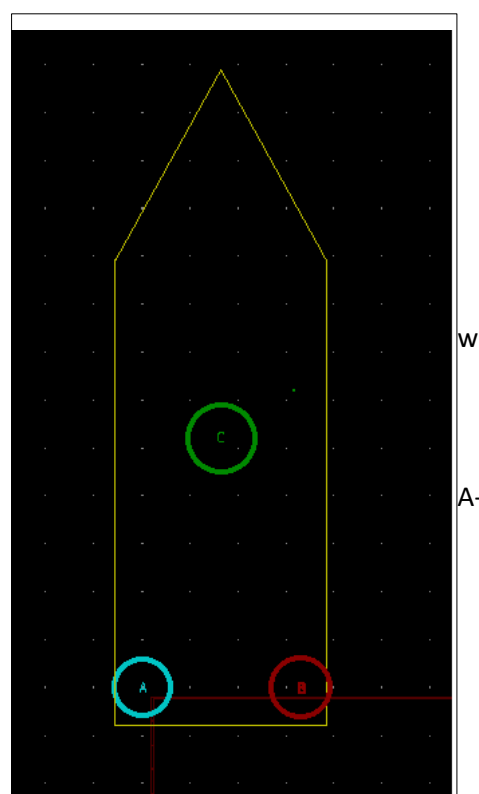


Figura 1: Graficzne przedstawienie układu współrzędnych

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

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

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

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:

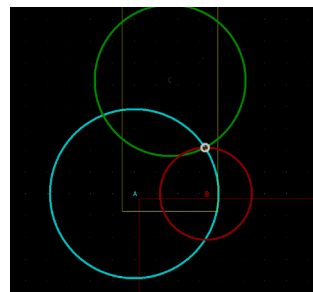
A 194

B 105

C 173

Obliczona pozycja:

X 163, Y-106



2. Dwa okręgi przecinają się

Promienie:

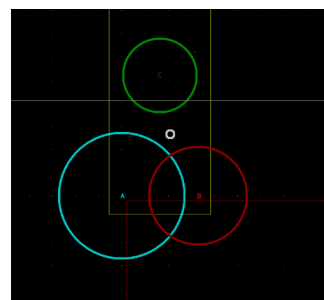
A 136

B 106

C 79

Obliczona pozycja:

X 105, Y-133



3. Okręgi nie przecinają się

Promienie:

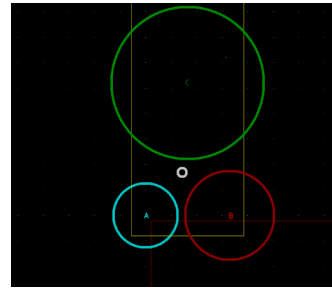
A 63

B 87

C 150

Obliczona pozycja:

X 72, Y -85



4. Wszystkie okręgi zachodzą na siebie

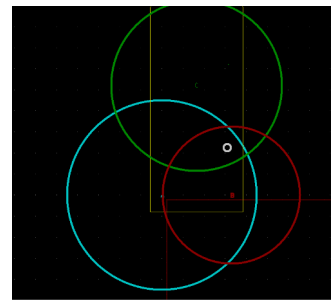
A 225

B 163

C 202

Obliczona pozycja:

X 155, Y -113



5. Okrąg A wewnątrz okręgu B

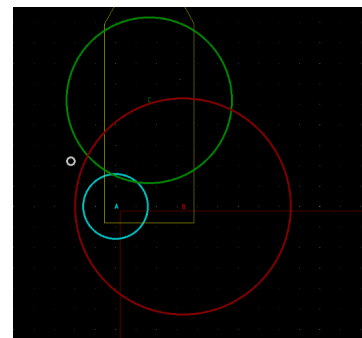
A 79

B 264

C 202

Obliczona pozycja:

X -110, Y -111



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

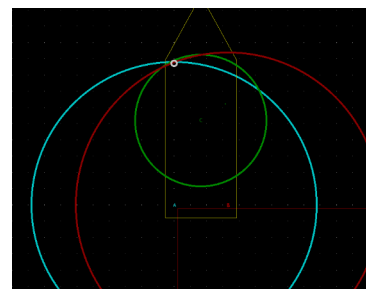
A 439

B 469

C 202

Obliczona pozycja:

X 0, Y -435

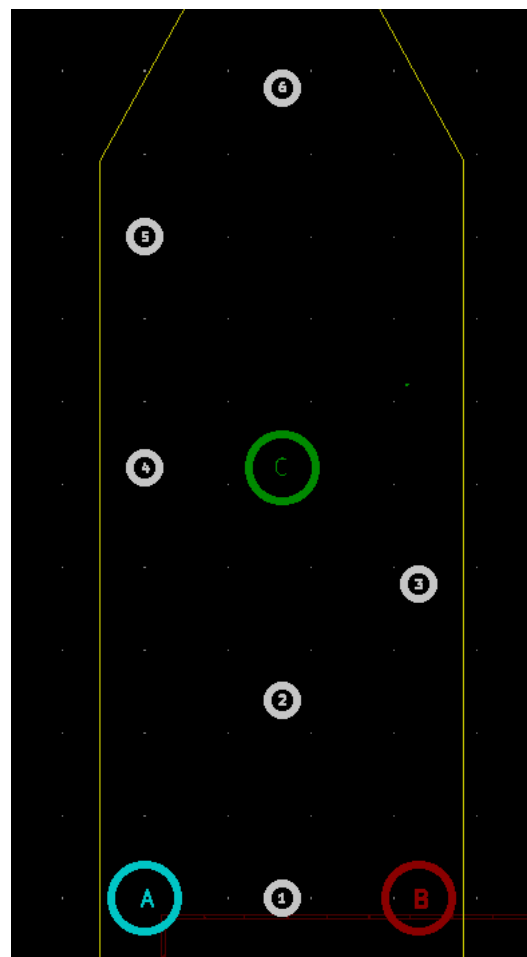


Stwierdzono poprawność metody trilateracji w przykładach wirtualnych.

4 Badanie precyzji i dokładności pomiaru pozycji – 3 punkty

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	P6
x	82,5	82,5	165	0	0	82,5
y	0	-120	-190	-260	-400	-490



P1

Odległości

A 66cm

B 69

C 262cm

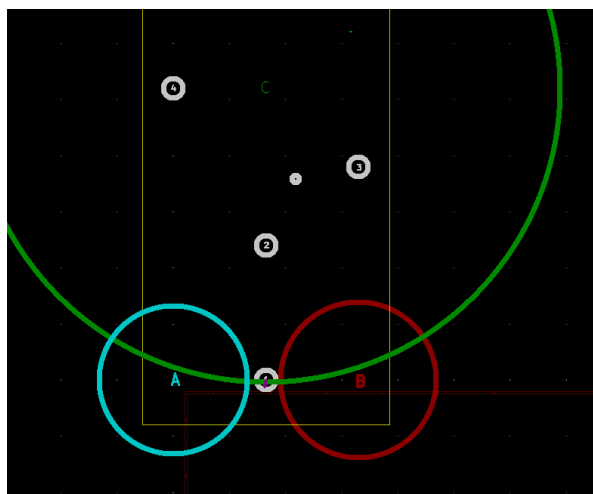
Obliczona Pozycja:

X 81

Y 6

Odchył:

< 10cm



P2

Zasięgi:

A 138cm

B 141cm

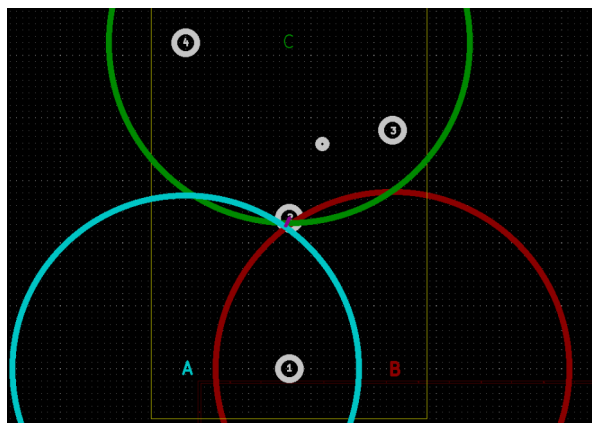
C 144cm

Obliczona Pozycja:

X 80

Y -114

Odchył: <10cm



P3

Zasięgi:

A 232cm

B 215cm

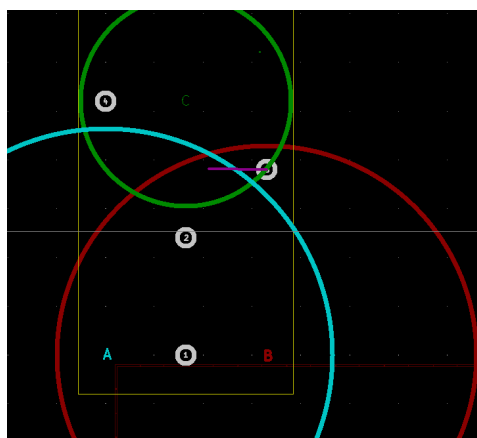
C 108cm

Obliczona Pozycja:

X 106

Y -191

Odchył: 59cm



P4

Zasięgi:

A 266cm

B 351cm

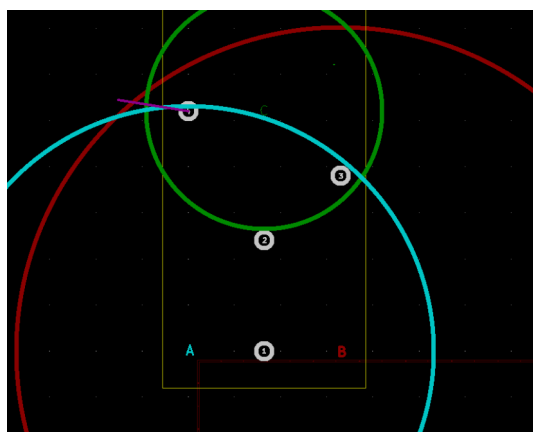
C 128cm

Obliczona Pozycja:

X-76

Y -272

Odchył: 77mm



P5

Zasięgi:

A 409cm

B 430cm

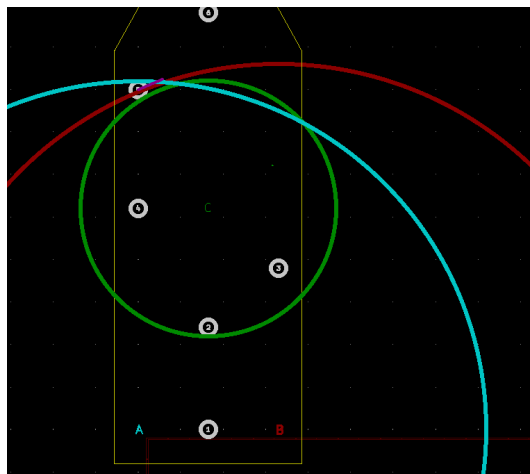
C 150cm

Obliczona Pozycja:

X 29

Y -412

Odchył: 31cm



P6

Zasięgi:

A 462

B 483

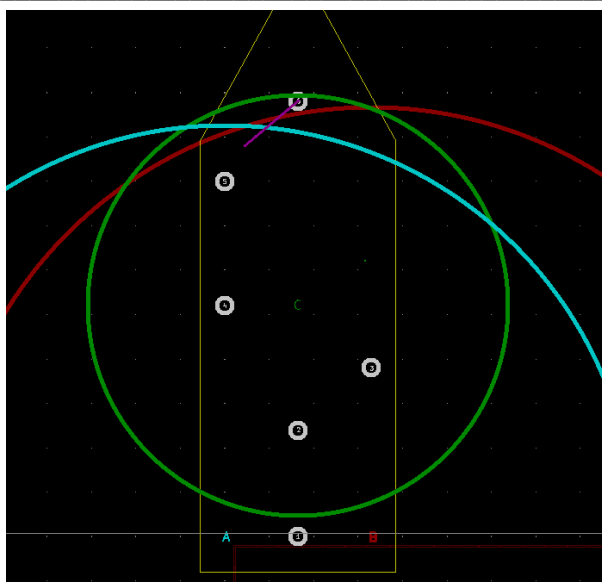
C 236

Obliczona Pozycja:

X 22

Y -439

Odchył: 80cm



4.1 Wnioski

Tylko 3 z 6 pomiarów spełniają założenia dokładności wyznaczania pozycji. Odchył od docelowej dokładności wyniósł maksymalnie 30cm.

5. Badanie precyzji i dokładności pomiaru pozycji – 6 punktów

W celu zwiększenia dokładności wyznaczono 3 dodatkowe punkty pomiaru: D, E, F. Wyznaczenie pozycji odbywa się poprzez trilaterację do jednej z 3 kombinacji punktów:

- 1. ABC
- 2. CDE
- 3. DEF

Sprawdzana jest sumaryczna odległość dla każdej z powyższych kombinacji. Wybrana zostaje najniższa wartość.

Tabela 1: Pozycje punktów skanujących

	A	B	C	D	E	F
X	0	165	82,5	0	165	82,5
Y	0	0	-260	-450	-450	-600

P1

Odległości

A 50cm

B 62cm

C 286 cm

D 480cm

E 478cm

F 620cm

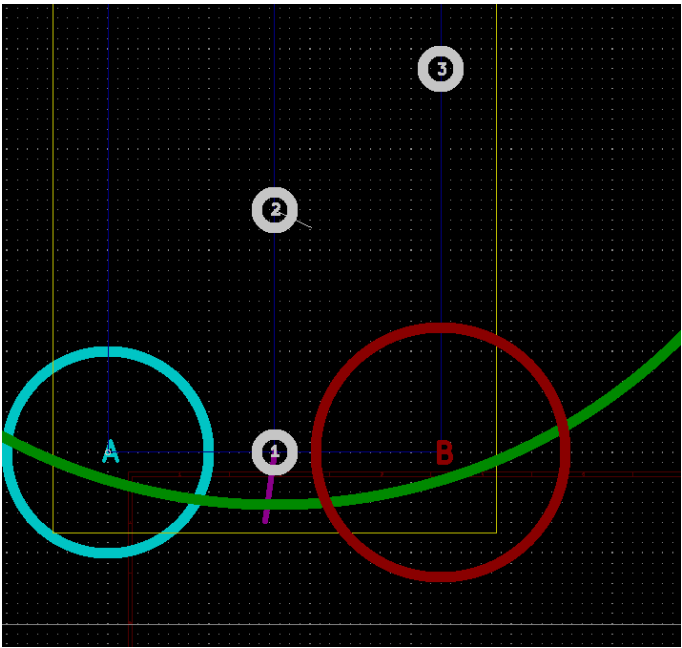
Wybrana kombinacja punktów: ABC

Obliczona Pozycja:

X 78

Y 34

Odchył: 35cm



P2

Odległości

A 131cm

B 166cm

C 197 cm

D 370cm

E 320cm

F 460cm

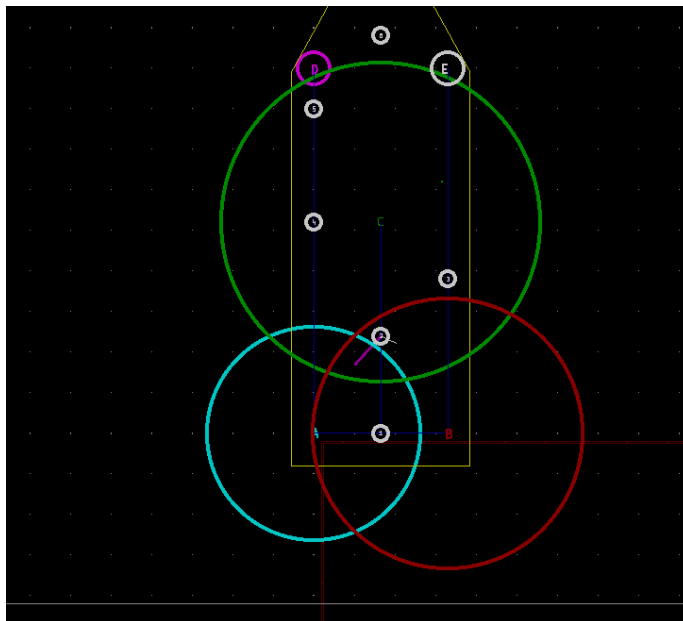
Wybrana kombinacja punktów: ABC

Obliczona Pozycja:

X 51

Y -85

Odchył: 48cm



P3

Odległości

A 261cm

B 200cm

C 145 cm

D 415cm

E 272cm

F 454cm

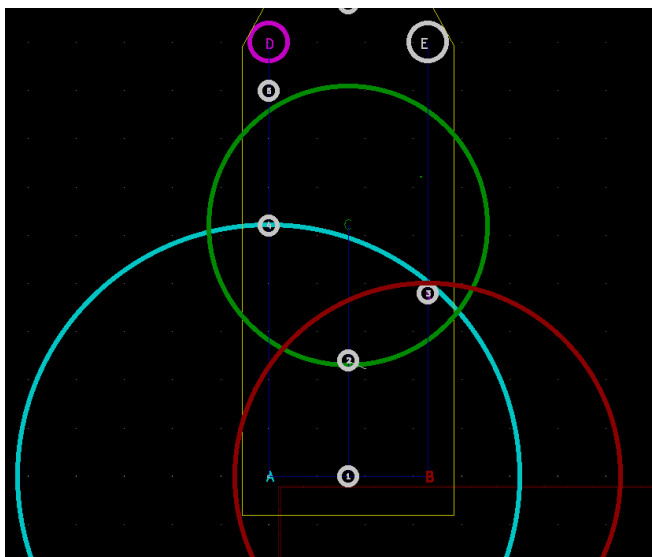
Wybrana kombinacja punktów: ABC

Obliczona Pozycja:

X 168

Y -180

Odchył: 11cm



P4

Odległości

A 270cm

B 338cm

C 190 cm

D 180cm

E 357cm

F 375cm

Wybrana kombinacja punktów:

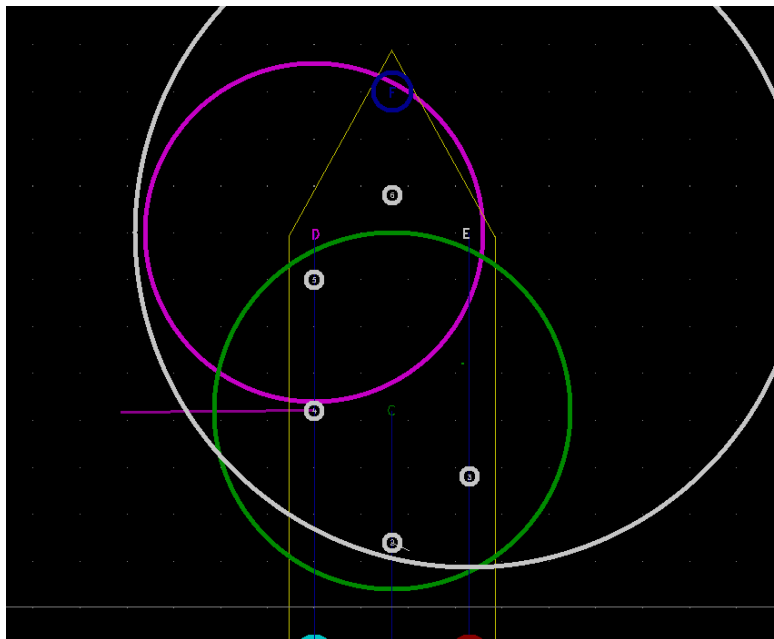
CDE

Obliczona Pozycja:

X -206

Y -258

Odchył: 207cm



P5

Odległości

A 390cm

B 423cm

C 160 cm

D 47cm

E 263cm

F 235cm

Wybrana kombinacja punktów:

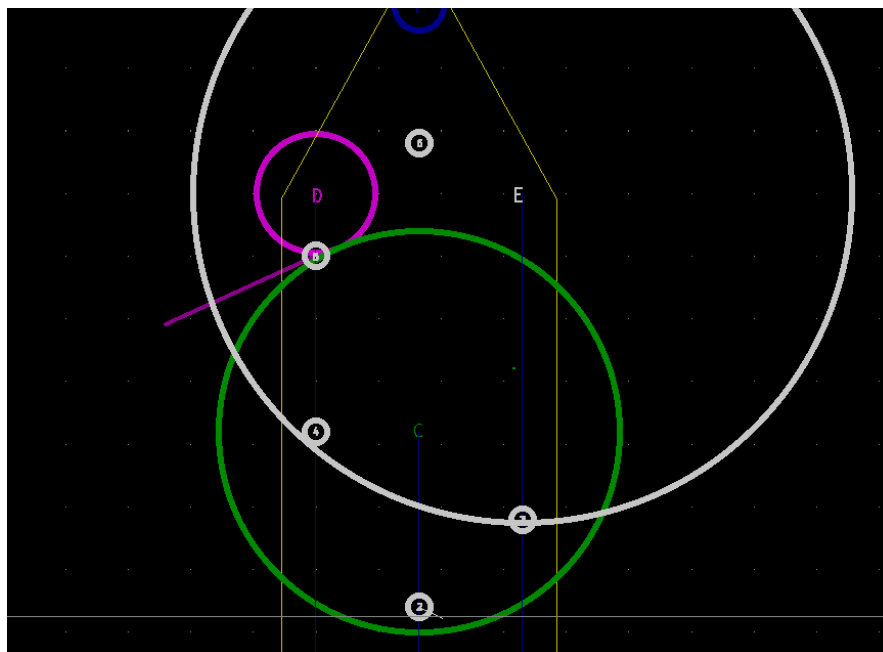
CDE

Obliczona Pozycja:

X -120

Y -346

Odchył: 132cm



P6

Odległości

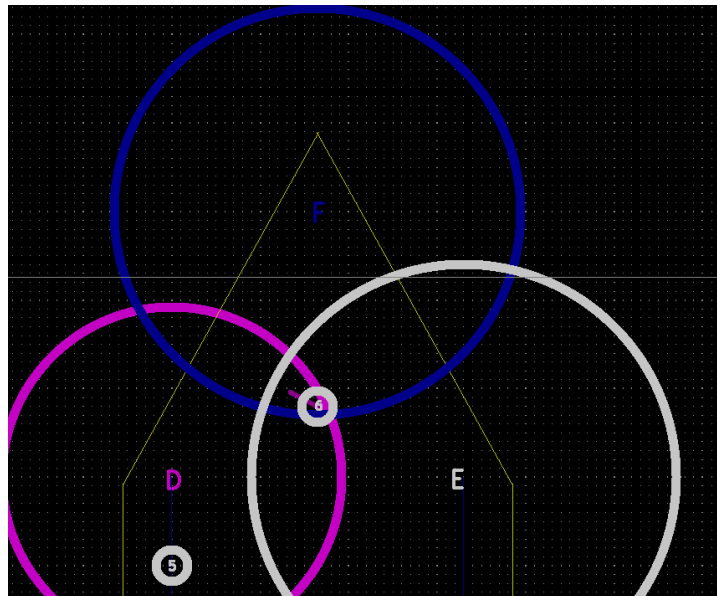
A 515cm
 B 558cm
 C 211 cm
 D 96m
 E 120cm
 F 115cm

Wybrana kombinacja punktów: DEF

Obliczona Pozycja:

X 67
 Y -498

Odchył: 18cm



5.1 Wnioski

4 z 6 punktów spełniają założenia dokładności pomiarów. W przypadku punktu 4 i 5 mamy bardzo duży odchył od rzeczywistej pozycji. W przypadku punktu 5 występuje jeden błędny odczyt odległości od punktu skanującego E. W przypadku punktu 4 wszystkie trzy punktu skanujące wyznaczyły odległość błędnie.

6. Badanie precyzji i dokładności pomiaru pozycji – 6 punktów- badanie na wysokości roboczej

Metodologia jest identyczna jak w poprzednim badaniu, jednak w poniższych pomiarach responder znajdował się na wysokości nadgarstka.

Punkty skanujące:

	A	B	C	D	E	F
X	0	165	82,5	0	165	82,5
Y	0	0	-260	-450	-450	-600

P1

Odległości

A 103cm

B 106cm

C 248 cm

D 465cm

E 441cm

F 598cm

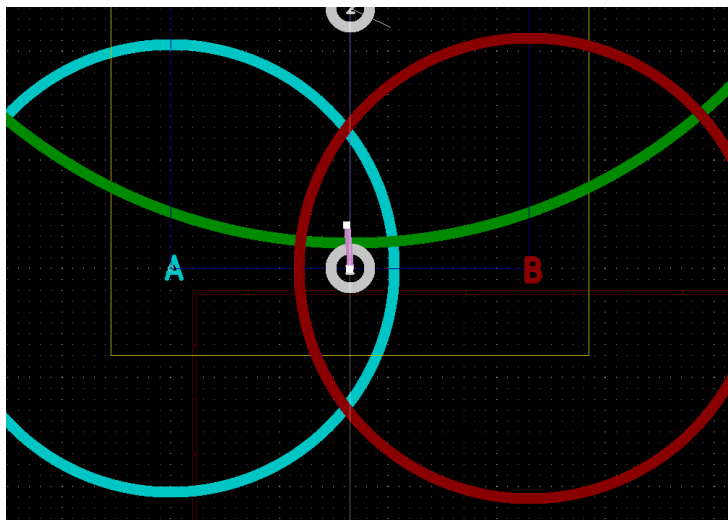
Wybrana kombinacja punktów: ABC

Obliczona Pozycja:

X 81

Y -20

Odchył: 21cm



P2

Odległości

A 147cm

B 166cm

C 91cm

D 308cm

E 312cm

F 475cm

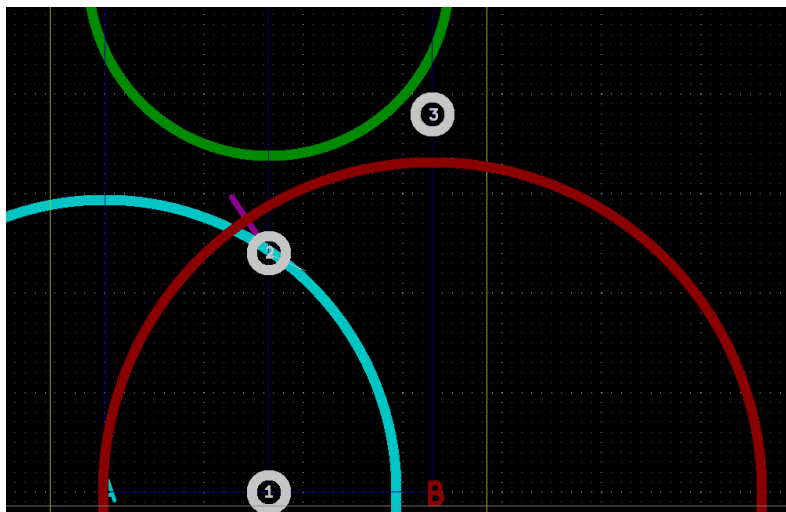
Wybrana kombinacja punktów: ABC

Obliczona Pozycja:

X 64

Y -148

Odchył: 34cm



P3

Odległości

A 266cm

B 198cm

C 119cm

D 331cm

E 221cm

F 381cm

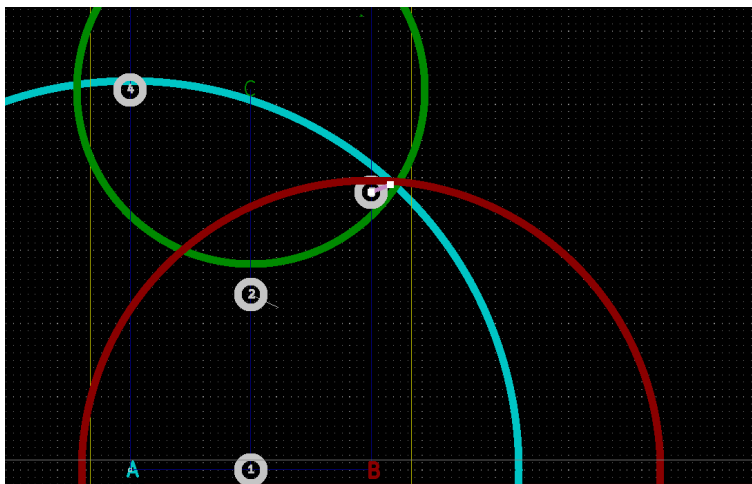
Wybrana kombinacja punktów: ABC

Obliczona Pozycja:

X 178

Y -195

Odchył: 14cm



P4

Odległości

A 212cm

B 281cm

C 82cm

D 191cm

E 307cm

F 371cm

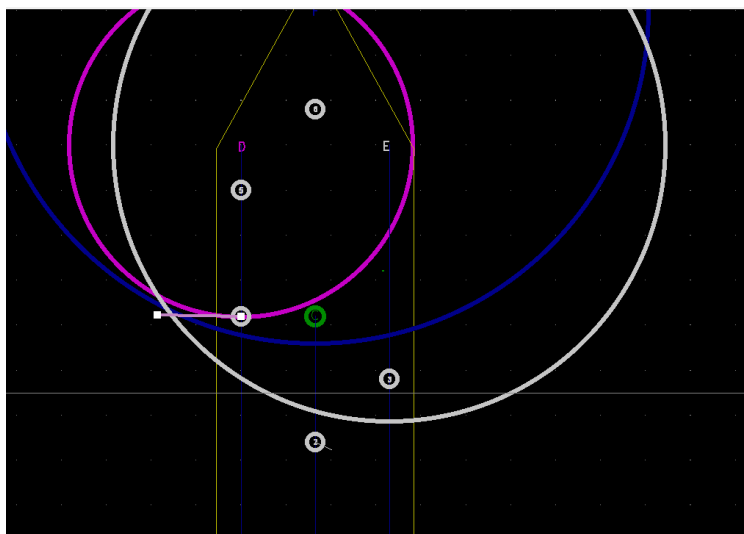
Wybrana kombinacja punktów: DEF

Obliczona Pozycja:

X -93

Y -261

Odchył: 94cm



P5

Odległości

A 363cm

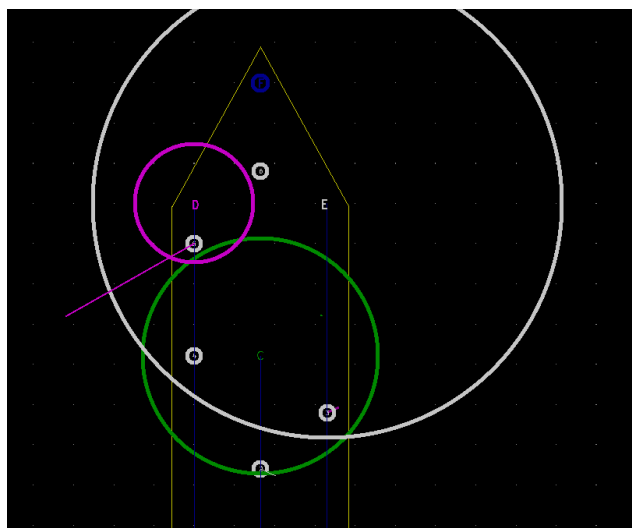
B 426cm

C 146cm

D 74cm

E 292cm

F 246cm



Wybrana kombinacja punktów: CDE

Obliczona Pozycja:

X -159

Y -310

Odchył: 183cm

P6

Odległości

A 471cm

B 516cm

C 232cm

D 133m

E 128cm

F 92cm

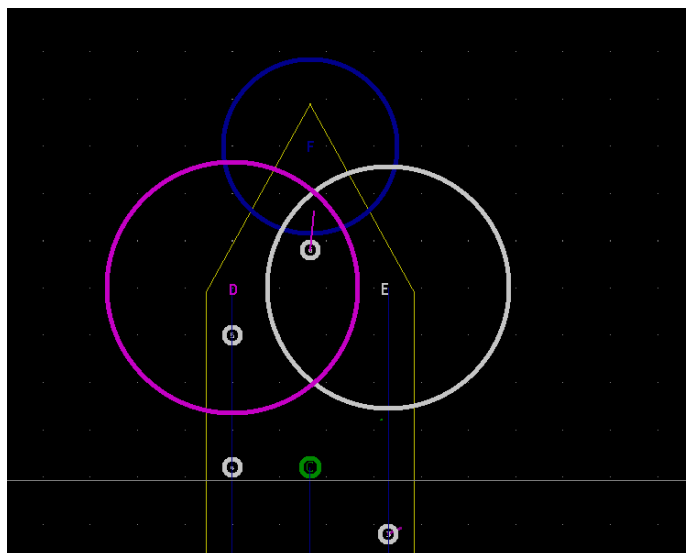
Wybrana kombinacja punktów: DEF

Obliczona Pozycja:

X 86

Y -531

Odchył: 42cm




6.1 Wnioski


Wynik badania jest bardzo podobny do wyniku z rozdziału 5. 4 z 6 punktów spełniają założenia dokładności pomiarów. W przypadku punktu 4 i 5 mamy bardzo duży odchył od rzeczywistej pozycji. Najbardziej prawdopodobną przyczyną jest zakłócanie sygnału przez wanty oraz maszt. W przypadku punktu 5 występuje jeden błędny odczyt odległości od punktu skanującego E. W przypadku punktu 4 wszystkie trzy punktu skanujące wyznaczyły odległość błędnie. Wyniki obliczeń wyglądają obiecująco- należy usprawnić metodę wyznaczania pozycji.

7. Badanie precyzji i dokładności pomiaru pozycji – 6 punktów- metodologia najbliższego punktu, przy użyciu programu testującego

Postanowiono zmodyfikować metodologię pomiaru wykorzystując 6 punktów skanujących. Metoda trilateracji polega tym razem na wyznaczeniu pozycji respondera przez każdą z 3 kombinacji punktów skanujących(ABC, CDE, DEF) . W ten sposób zostaną otrzymane 3 zestawy współrzędnych XY, spośród których wybrana zostanie pozycja najbliższa geometrycznego środka łodzi. Na potrzeby badania przyjmuje się za środek współrzędne punktu skanującego C(82,5, -260).

Punkty pomiarowe zostały na grafikach oznaczone krzyżykami. A- Jasnoniebieski , B-czerwony, C-zielony, D-fioletowy, E-szary, F-granatowy

Rzeczywista pozycja to kółko z krzyżykiem szarego koloru 

Pozycja wyznaczona przez algorytm to kółko z krzyżykiem białego koloru. 

Do badania wykorzystane zostały dane z rozdziału 6.

P1

Odległości

A 103cm

B 106cm

C 248 cm

D 465cm

E 441cm

F 598cm

Obliczona Pozycja:

ABC:

X 81

Y -20

odległość od C: 240

CDE

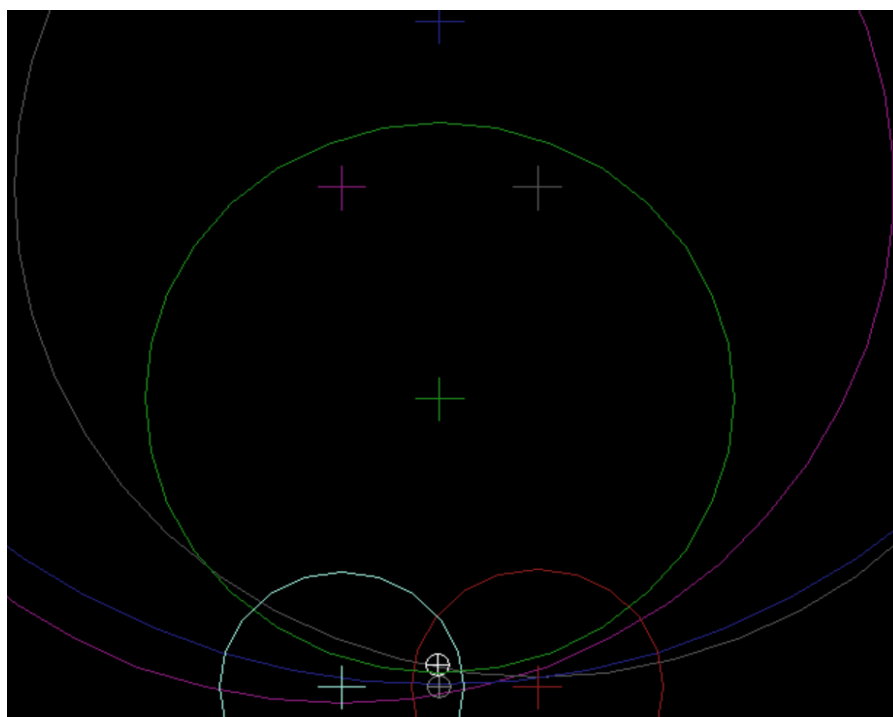
X 148

Y 6

odległość od C: 274

DEF

X 148



Y 5

odległość od C: 273

Wybrana kombinacja: ABC

Odchył: 21cm/ /

P2

Odległości

A 147cm

B 166cm

C 91 cm

D 308cm

E 312cm

F 475cm

Obliczona Pozycja:

ABC:

X 64

Y -148

odległość od C: 113cm

CDE

X 75

Y -142

odległość od C: 118

DEF

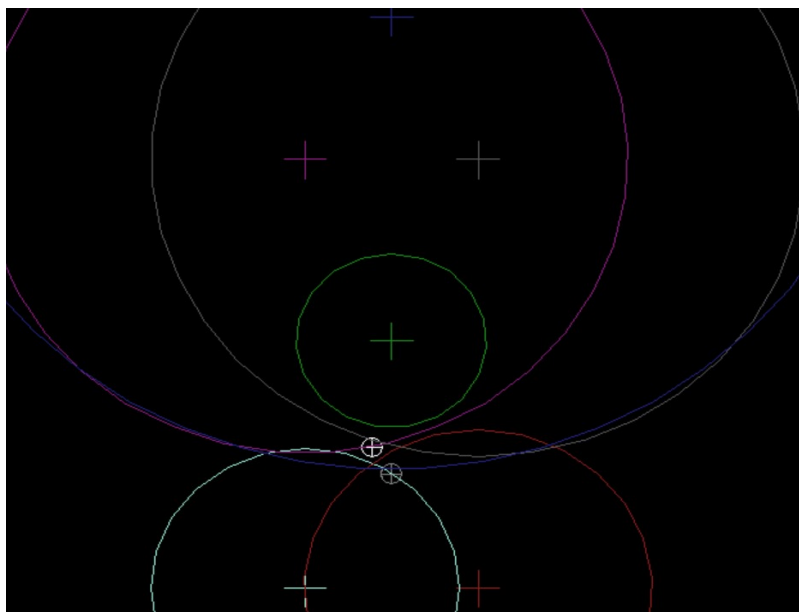
X 75

Y -71

odległość od C: 190

Wybrana kombinacja: ABC

Odchył: 34cm/28/25



P3

Odległości

A 266cm

B 198cm

C 119cm

D 331cm

E 221cm

F 381cm

Obliczona Pozycja:

ABC:

X 178

Y -195

odległość od C: 115cm

CDE

X 267

Y -202

odległość od C: 193

DEF

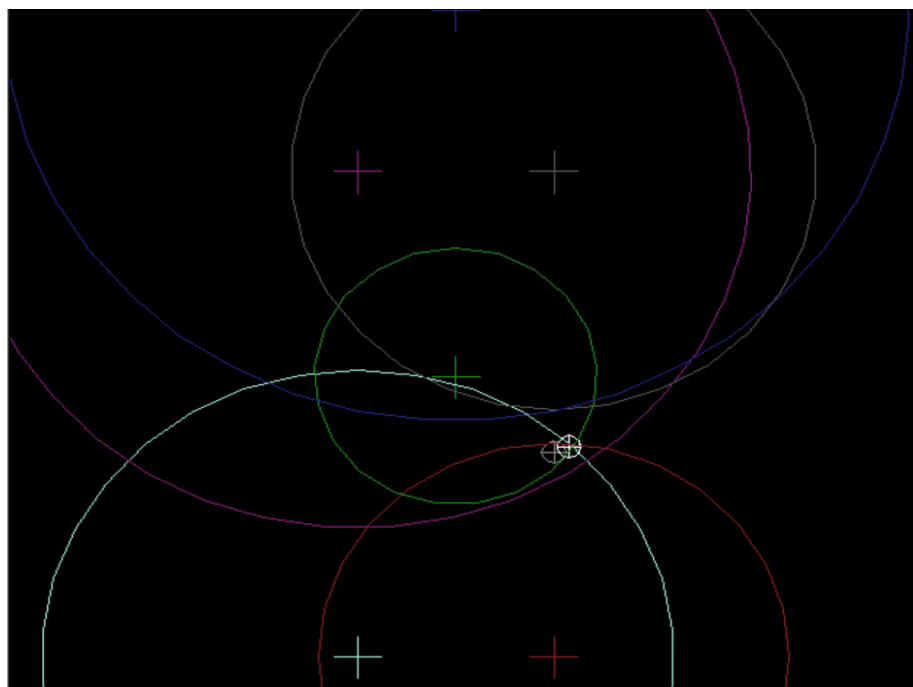
X 267

Y -282

odległość od C: 185

Wybrana kombinacja: ABC

Odchył: 14cm/51/51



P4

Odległości

A 212cm

B 281cm

C 82cm

D 191cm

E 307cm

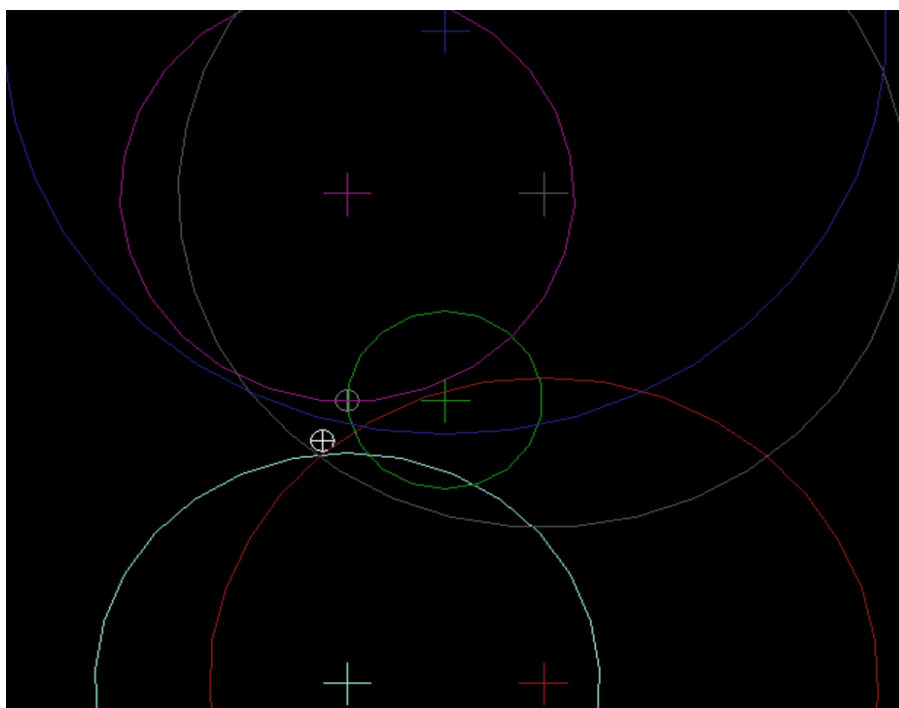
F 371cm

Obliczona Pozycja:

ABC:

X -21

Y -223



odległość od C: 109cm

CDE

X -93

Y -219

odległość od C: 180

DEF

X -93

Y -261

odległość od C: 175

Wybrana kombinacja: ABC

Odchył: 43cm

P5

Odległości

A 363cm

B 426cm

C 146cm

D 74cm

E 292cm

F 246cm

Obliczona Pozycja:

ABC:

X -68

Y -377

odległość od C: 191cm

CDE

X -159

Y -310

odległość od C: 247

DEF

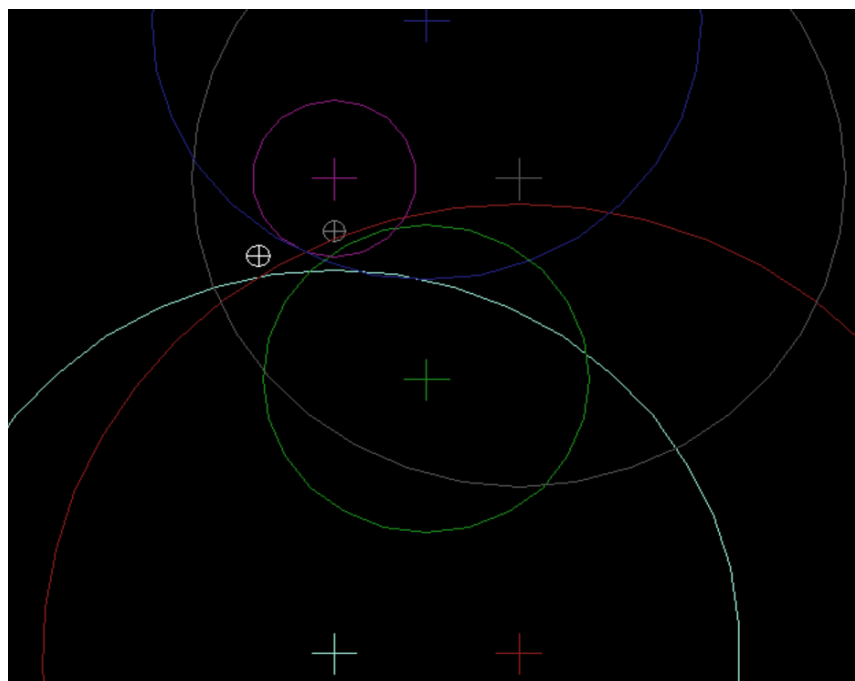
X -159

Y -452

odległość od C: 309

Wybrana kombinacja: ABC

Odchył: 72cm/32/47



P6

Odległości

A 471cm

B 516cm

C 232cm

D 133m

E 128cm

F 92cm

Obliczona Pozycja:

ABC:

X -52

Y -483

odległość od C: 260cm

CDE

X 86

Y -470

odległość od C: 210

DEF

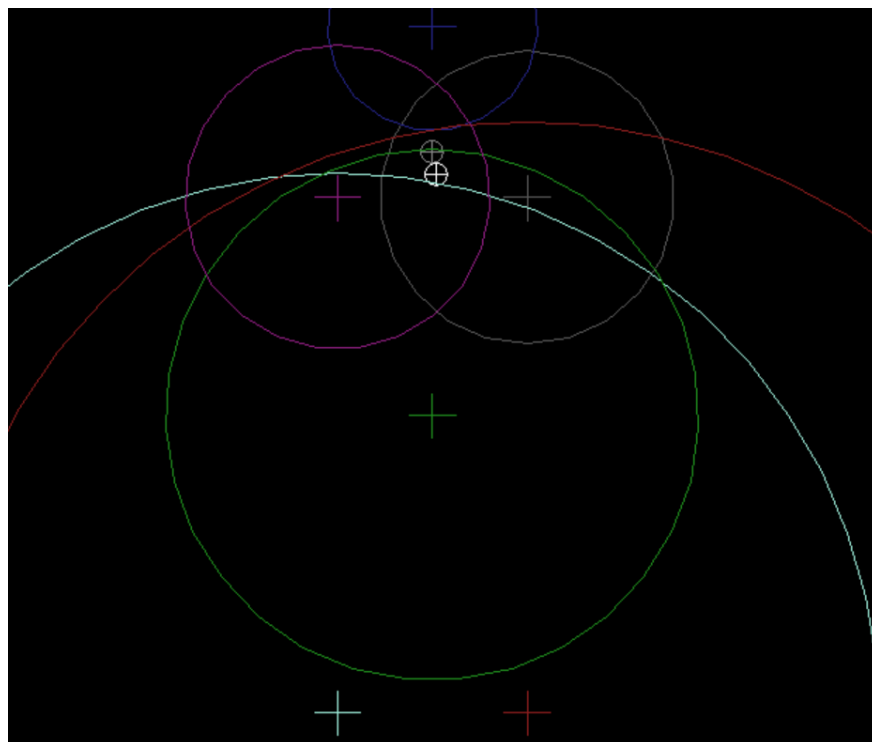
X 86

Y -531

odległość od C: 271

Wybrana kombinacja: CDE

Odchył: 21cm/38/38



7.1 Wnioski

Spośród 6 pomiarów tylko jeden wyszedł poza wymaganą precyzję, o 20 cm.

Po zaimplementowaniu algorytmów na wyższym poziomie powinno to zapewnić wystarczającą dokładność.

Wykonał: Bartosz Prac