

TOPS – Metoda estymacji kierunku przybycia sygnałów szerokopasmowych

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
AGH University of Science and Technology

Zadania algorytmu

Algorytm ma za zadanie obliczyć DOA (direction of arrival).

Algorytm przyjmuje na wejściu:

- Sygnał odebrane na każdym z odbiorników ulokowanych w przestrzeni;
- Liczbę źródeł sygnału;
- Pasmo w jakim wysyłany jest sygnał.

Algorytm po swoim wykonaniu podaje kąty pod jakimi źródła ulokowane są względem macierzy mikrofonowej.

Model sygnału

DFT sygnału na m-tym odbiorniku:

$$X_m(\omega_i) = \sum_{l=0}^{L-1} S_l(\omega_i) e^{-j\omega_i t_{mdelay}(\theta_l)} + N_m(\omega_i) \quad (1)$$

Równanie (1) w postaci macierzowej (dla wszystkich m):

$$X(\omega_i) = A(\omega_i, \boldsymbol{\theta}) S(\omega_i) + N(\omega_i)$$

$X(\omega_i)$ – macierz $M \times 1$

$S(\omega_i)$ – macierz $L \times 1$

$N(\omega_i)$ – macierz $M \times 1$

$A(\omega_i, \boldsymbol{\theta})$ – macierz sterująca $M \times L$, gdzie poszczególne wyrazy to:
 $e^{-j\omega_i t_{mdelay}(\theta_l)}$

Macierz autokorelacji

Macierz autokorelacji używana jest we wszystkich algorytmach służących do obliczania DOA

Algorytm wyznaczania macierzy autokorelacji z sygnałów odebranych na mikrofonie:

- Podzielenie sygnałów na bloki
- Obliczenie DFT dla każdego bloku
- Wybranie z każdego bloku DFT wartości odpowiadającej częstotliwości ω_i – utworzenie macierzy $X(\omega_i)$
- Obliczenie macierzy autokorelacji zgodnie ze wzorem: $R_i = E[X_i X_i^H]$
 R_i – macierz autokorelacji $M \times M$ dla i -tej częstotliwości

Podprzestrzenie sygnału i szumu

Macierz autokorelacji R_i powinna mieć L niezerowych wartości własnych. Korespondujące z nimi wektory własne ułożone wertykalnie tworzą podprzestrzeń sygnału F_i – macierz $M \times L$. Pozostałe wektory własne tworzą podprzestrzeń szumu W_i – macierz $M \times (M-L)$.

MUSIC – podstawowy algorytm do obliczania DOA

Algorytm postępowania w wąskopasmowej metodzie MUSIC (dla jednej częstotliwości ω_i):

- Wyznaczenie macierzy autokorelacji R_i
- Wyznaczenie macierzy podprzestrzeni szumu W_i
- Obliczenie odwrotności pseudospektrum, czyli dla każdego hipotetycznego θ (DOA), kwadratu normy z iloczynu $a_i(\theta)W_i^*$, gdzie $a_i(\theta)$ – wektor sterujący, czyli kolumna macierzy sterującej $A(\omega_i, \theta)$ odpowiadająca kątowi θ

Gdy θ rzeczywiście jest DOA, norma powinna przyjąć wartość zero. W celu wyznaczenia DOA należy znaleźć argumenty L największych maksimum lokalnych pseudospektrum.

TOPS – Test of Orthogonality of Projected Subspaces

Algorytm postępowania (i – indeksy częstotliwości od i_0 do i_{K-1}):

- Obliczenie macierzy autokorelacji R_i
- Obliczenie macierzy podprzestrzeni szumu W_i
- Obliczenie jednej macierzy podprzestrzeni sygnału F_{i0}
- Obliczenie diagonalnych macierzy $M \times M$ transformacji $\Phi(\Delta\omega_i, \theta)$,
gdzie:

$$[\Phi(\Delta\omega_i, \theta)]_{(m,m)} = e^{-j\Delta\omega_i t_{mdelay}(\theta)} \text{ oraz } \Delta\omega_i = \omega_i - \omega_{i0}$$

- Obliczenie macierzy U :

$$U_i(\theta) = \Phi(\Delta\omega_i, \theta)F_{i0}$$

TOPS – ciąg dalszy algorytmu

- Obliczenie $L \times (K-1)(M-L)$ macierzy D :

$$D(\theta) = [U_{i1}^H W_{i1} | U_{i2}^H W_{i2} | \dots | U_{i(K-1)}^H W_{i(K-1)}]$$

– gdy θ jest jednym z DOA rząd macierzy D się zmniejsza

- Obliczenie $\sigma_{\min}(\theta)$ - najmniejszych wartości SVD macierzy $D(\theta)$
- Znalezienie argumentów (θ) największych L maksimum lokalnych $1/\sigma_{\min}(\theta)$

Symulacje - założenia

Sygnał – suma 7 sinusów o losowej, zmiennej w czasie fazie, losowej zmiennej w czasie amplitudzie oraz o równomiernie rozłożonych częstotliwościach z zakresu 1000-2000Hz

Prędkość rozchodzenia się sygnału – 343m/s (prędkość dźwięku)

Ilość bloków – 100, długość jednego bloku do DFT – 256 próbek

Częstotliwość próbkowania $f_s=8000\text{Hz}$

10 odbiorników ułożonych równomiernie w okrąg o promieniu około 1m ($4.5 \cdot \lambda_{\text{śr.}}$)

Właściwości pogłosu:

Rozmiary pokoju: 13x13x3[m]

Odbiorniki na środku pokoju na wysokości 1m

Źródła w odległości 6m od środka pokoju na wysokości 1m

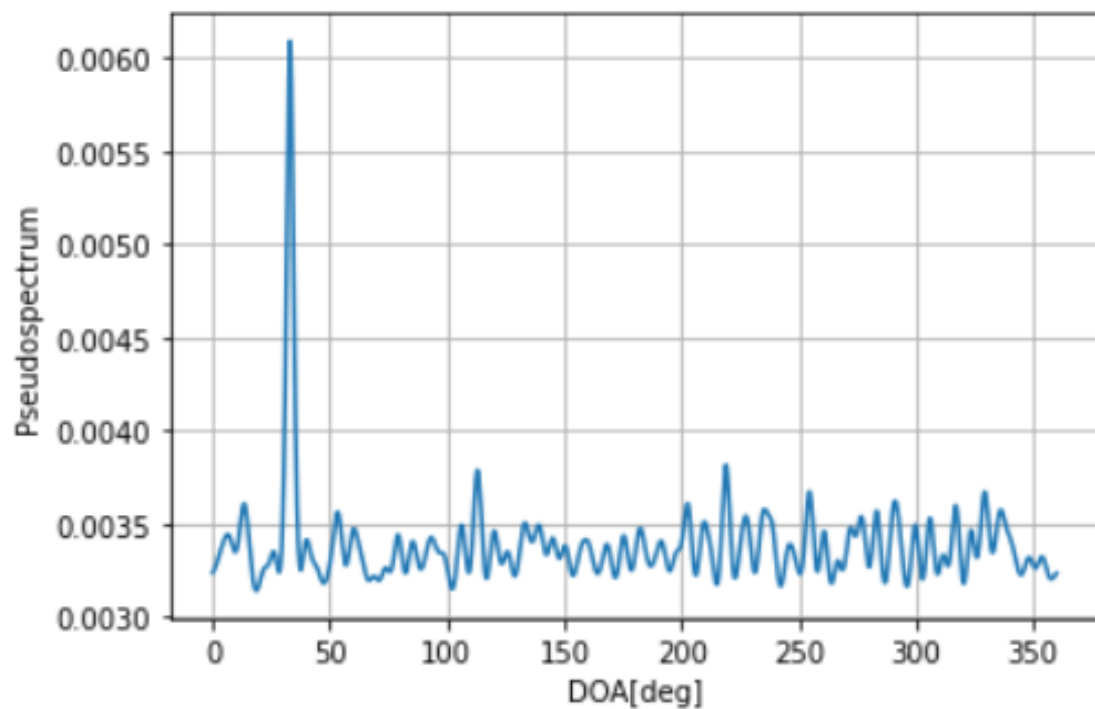
Czas pogłosu: 0.4s, tylko odbicia pierwszego rzędu

Długość filtru: 6000

Symulacje wyniki

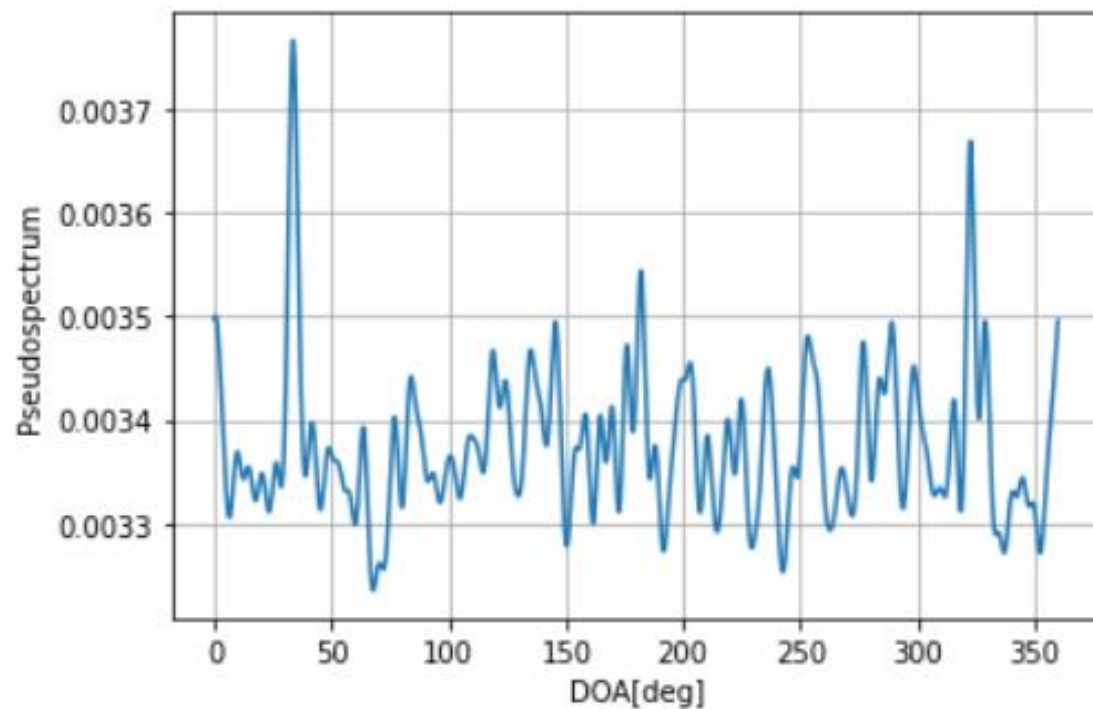
Jedno źródło o DOA = 33°:

MUSIC przy SNR = 0dB



DOA[deg]: [33.]

MUSIC przy SNR = -25dB

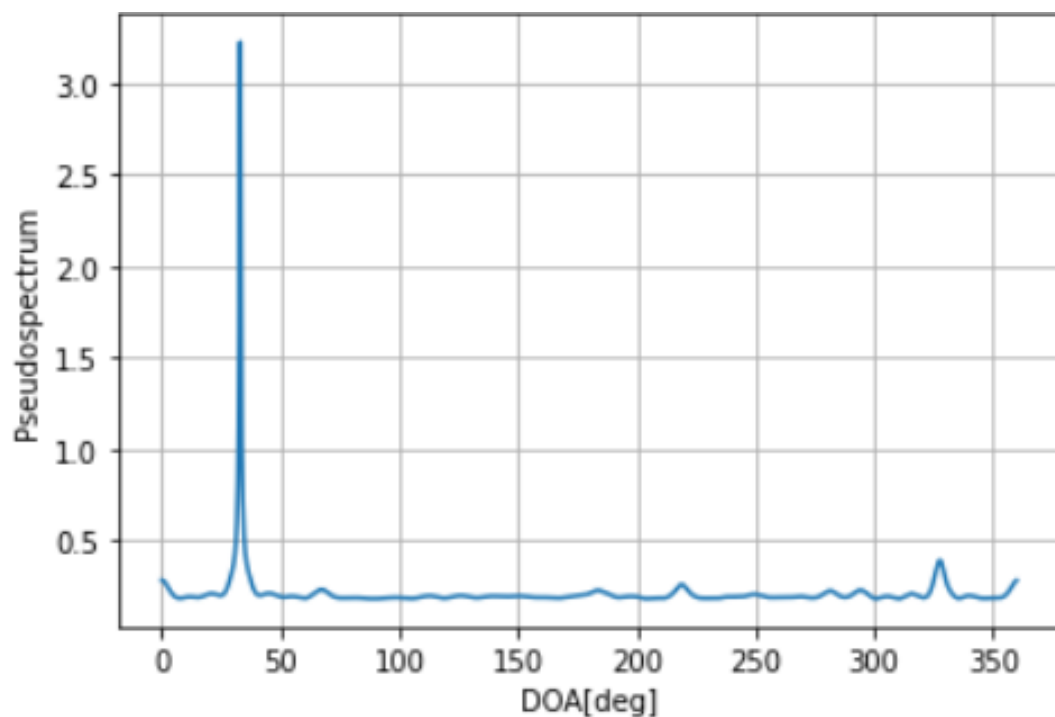


DOA[deg]: [33.6]

Symulacje wyniki

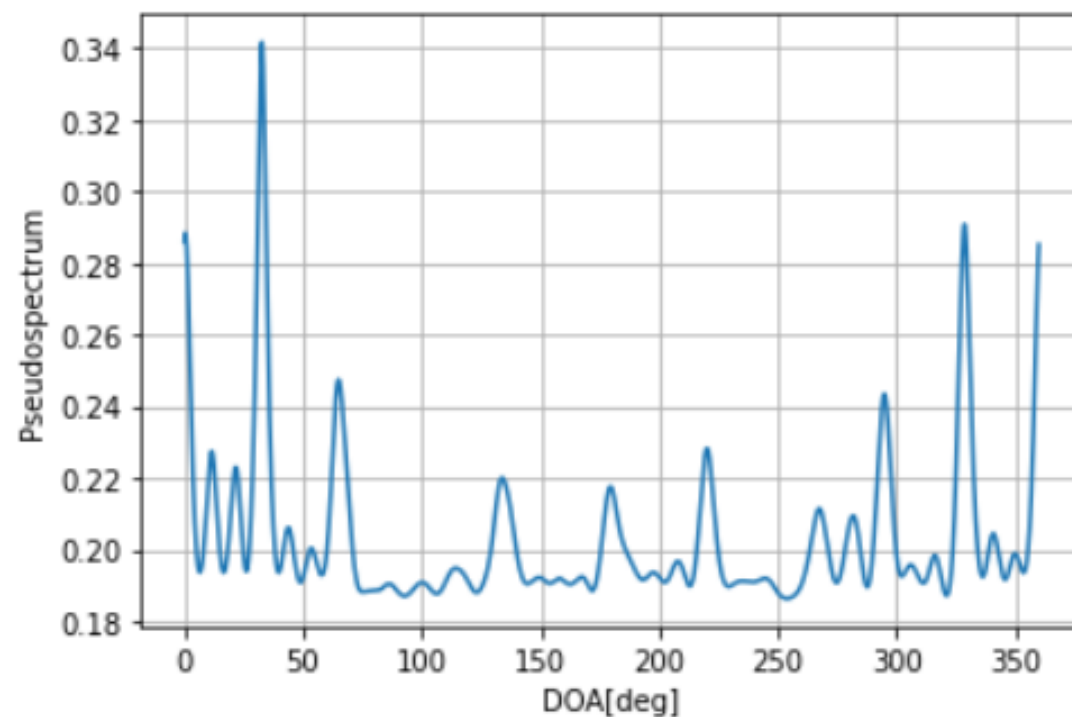
Jedno źródło o DOA = 33°:

TOPS przy SNR=0dB



DOA[deg]: [33.]

TOPS przy SNR= -25dB

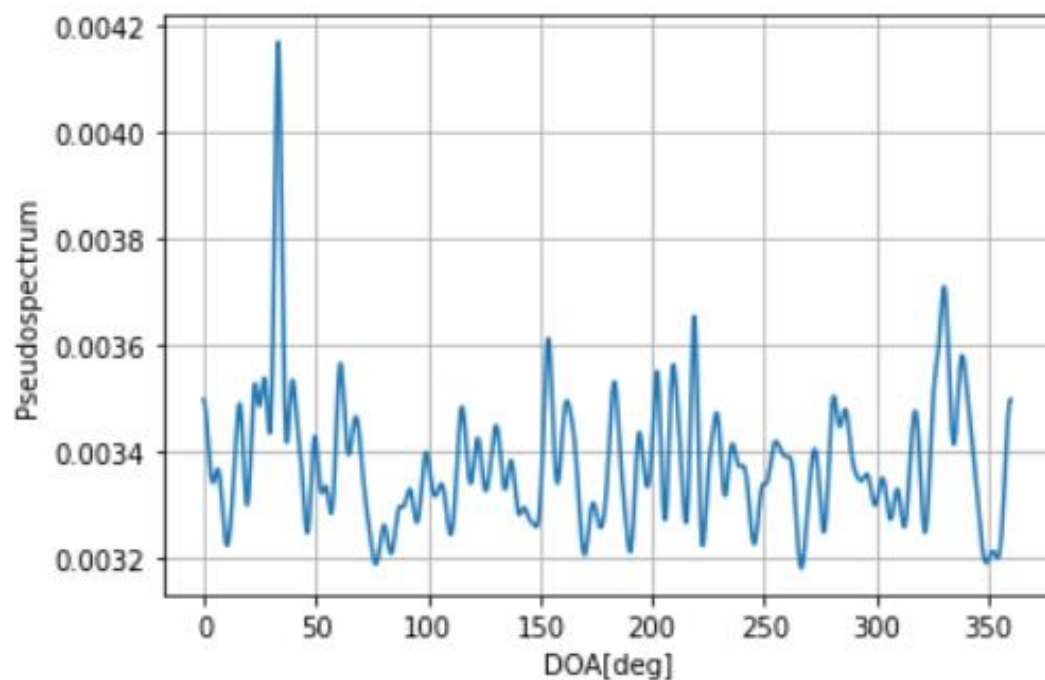


DOA[deg]: [32.6]

Symulacje wyniki

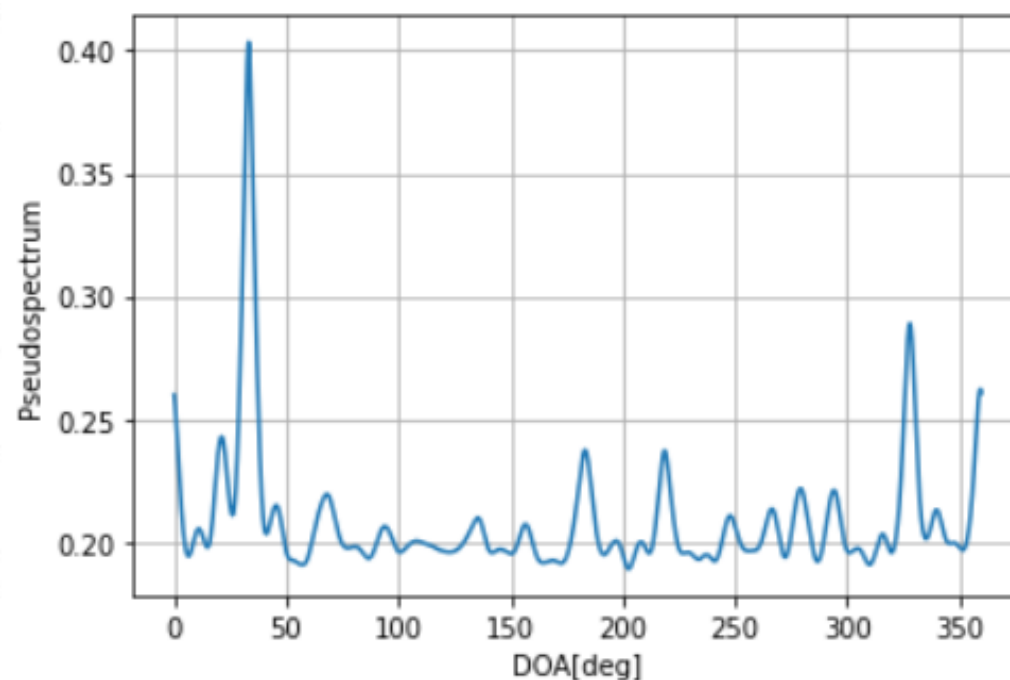
Jedno źródło o DOA = 33° , dodany pogłos

MUSIC przy SNR=0dB



DOA[deg]: [33.1]

TOPS przy SNR=0dB



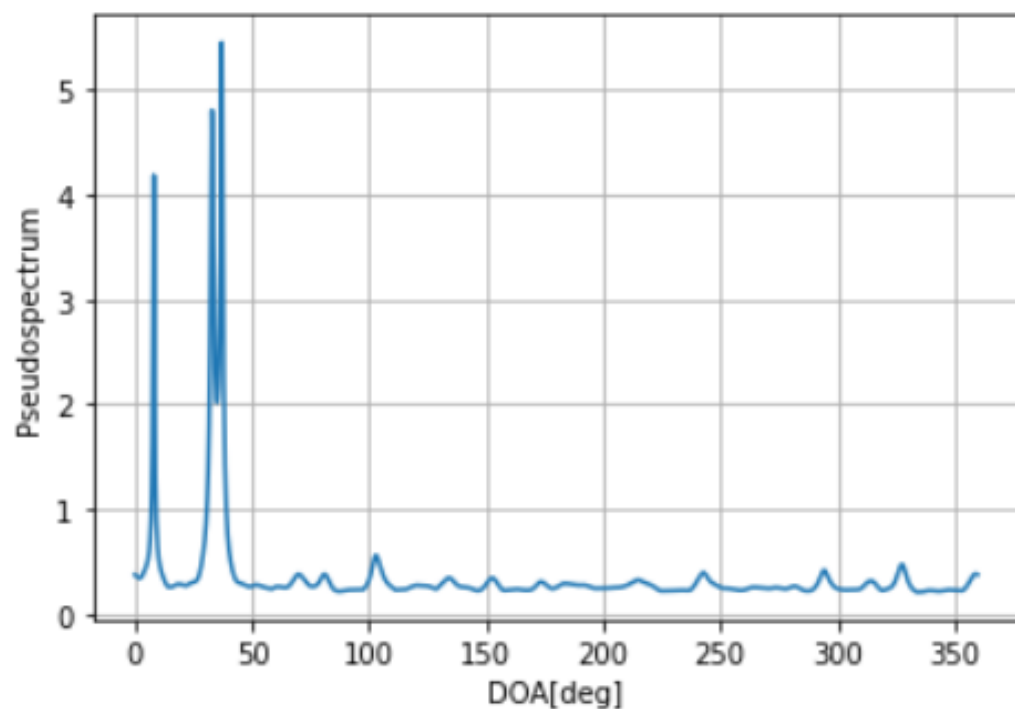
DOA[deg]: [33.2]

Symulacje wyniki

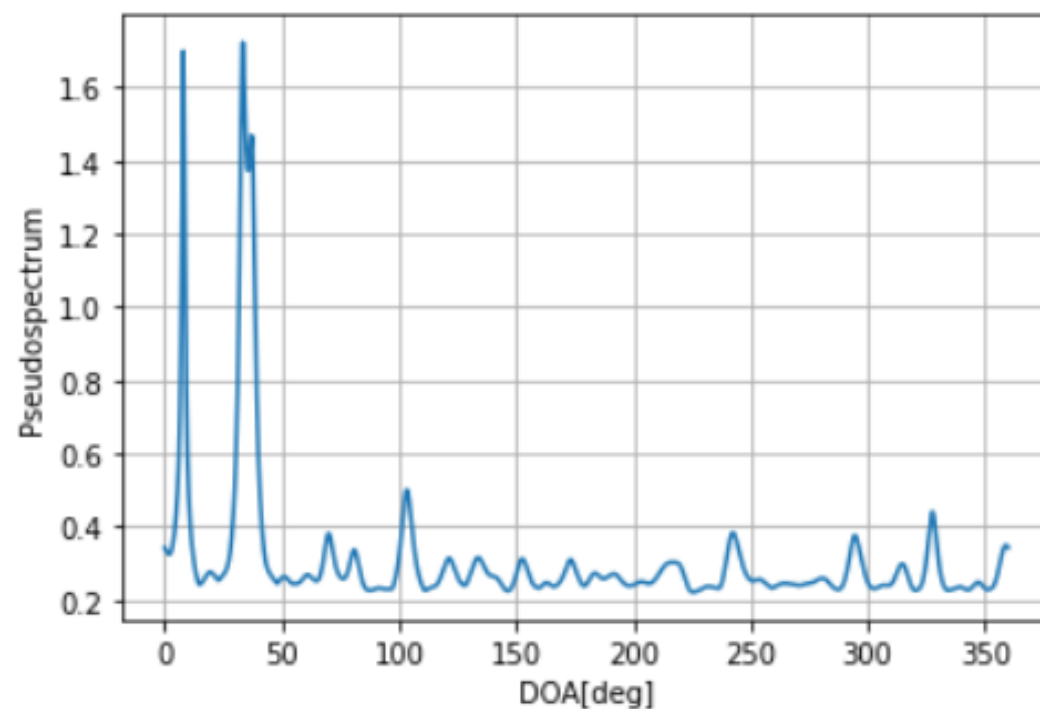
Trzy źródła o DOA równych 8° , 33° , 37°

TOPS przy SNR = 10dB

TOPS przy SNR = -10dB



DOA[deg]: [8.1 32.9 37.1]



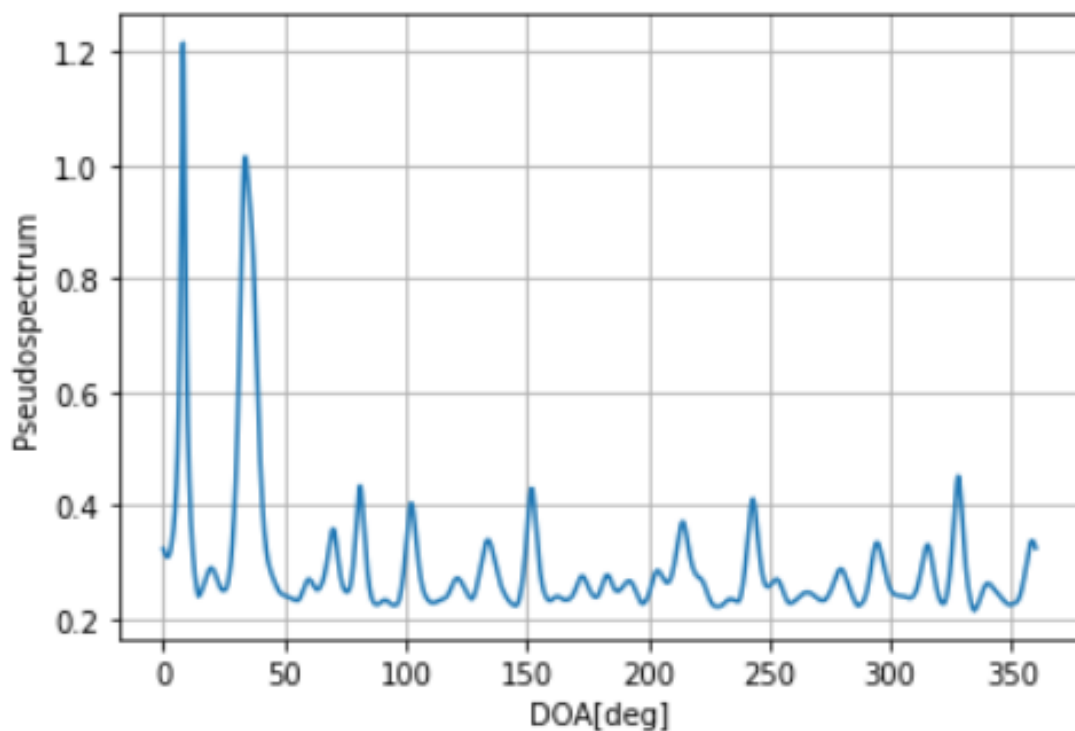
DOA[deg]: [8. 33.3 37.]

Symulacje wyniki

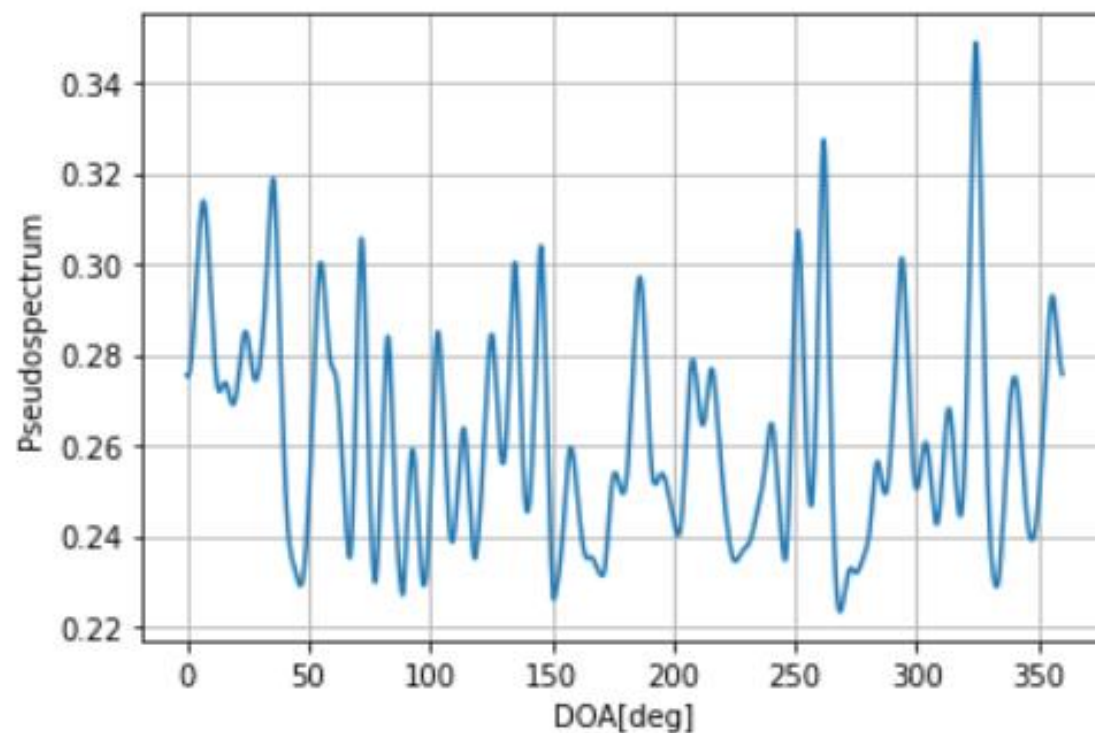
Trzy źródła o DOA równych 8° , 33° , 37°

TOPS przy SNR = -15dB

TOPS przy SNR = -25dB



DOA[deg]: [8.2 33.8 328.]

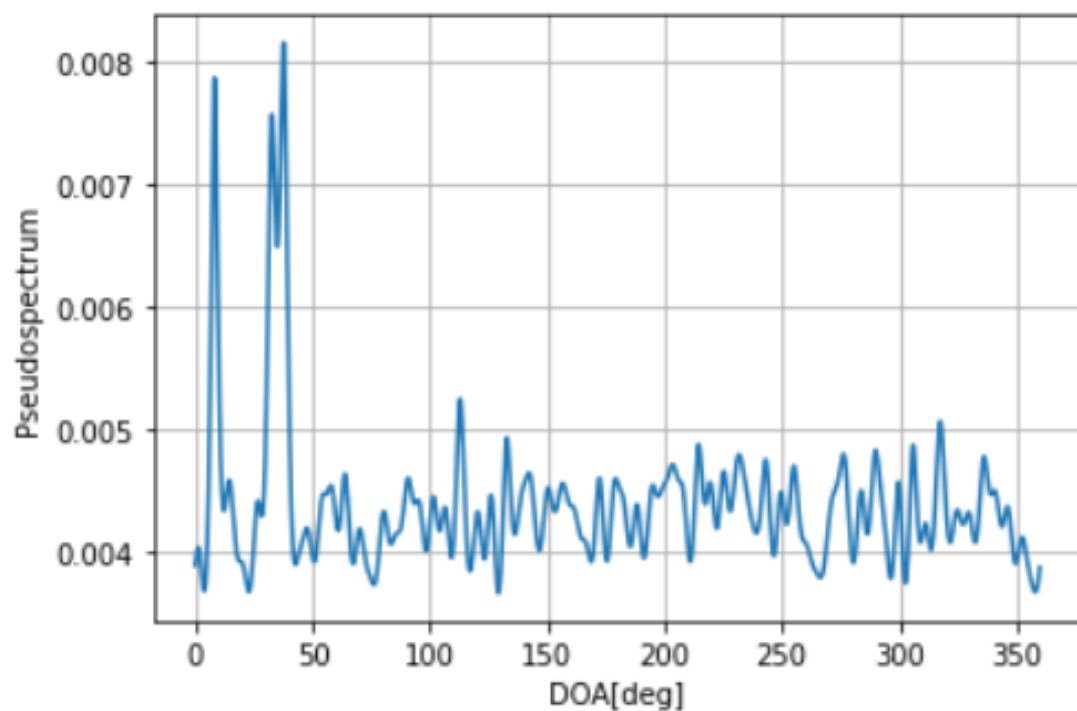


DOA[deg]: [35.4 261.8 324.4]

Symulacje wyniki

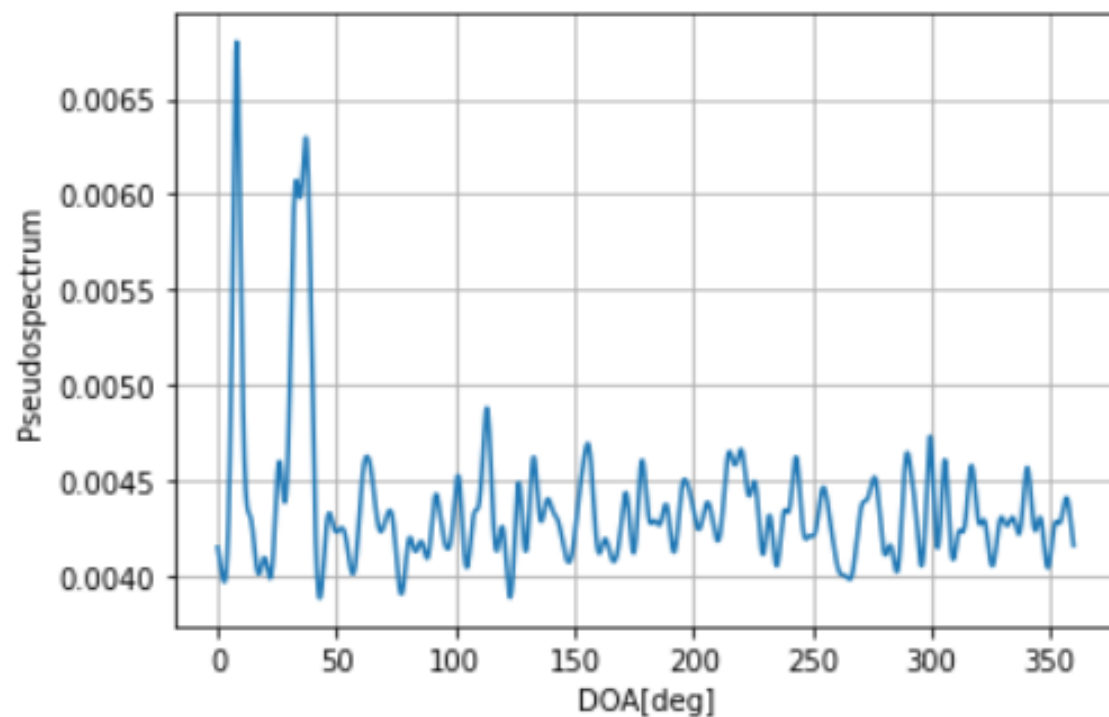
Trzy źródła o DOA równych 8° , 33° , 37°

MUSIC przy SNR = 10dB



DOA[deg]: [8.2 32.7 37.6]

MUSIC przy SNR = -10dB

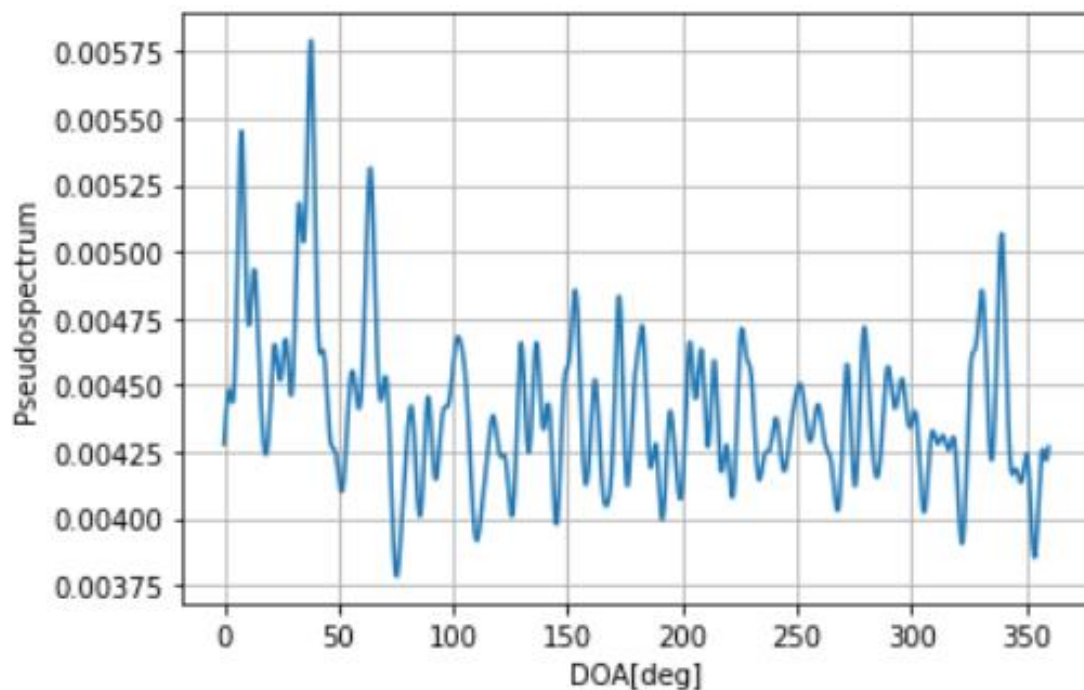


DOA[deg]: [7.9 33. 37.]

Symulacje wyniki

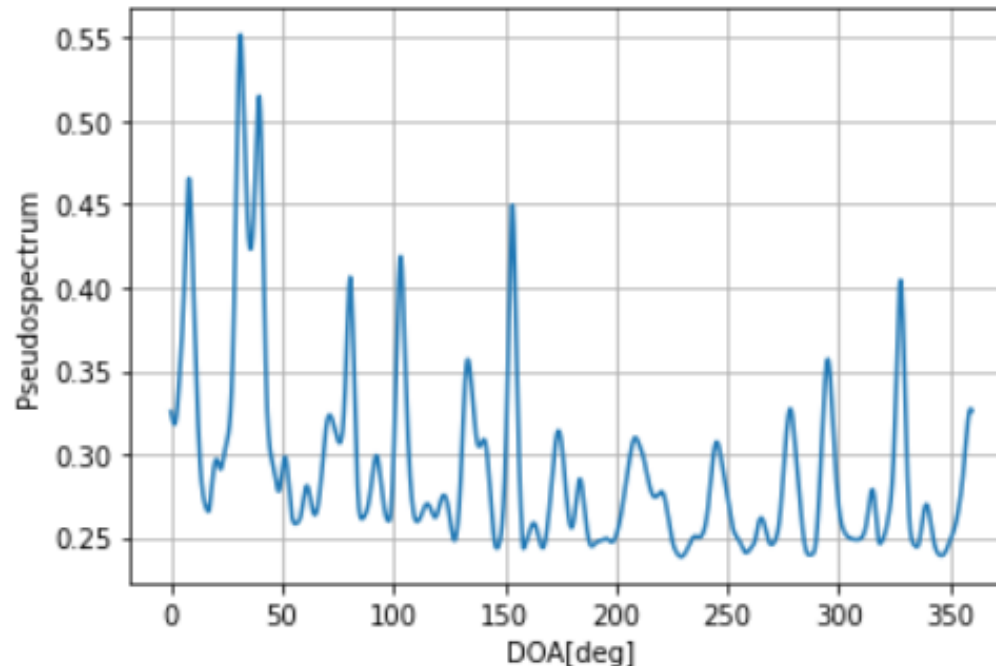
Trzy źródła o DOA równych 8° , 33° , 37° , dodany pogłos

MUSIC przy SNR = 0dB



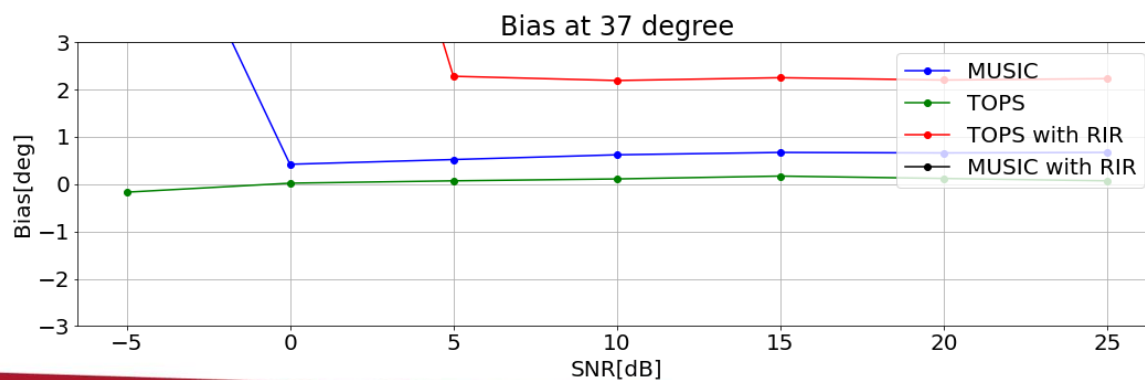
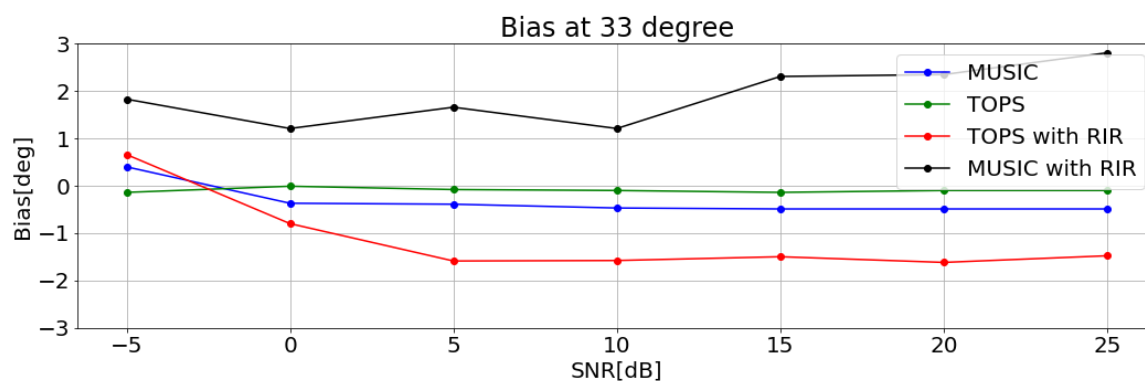
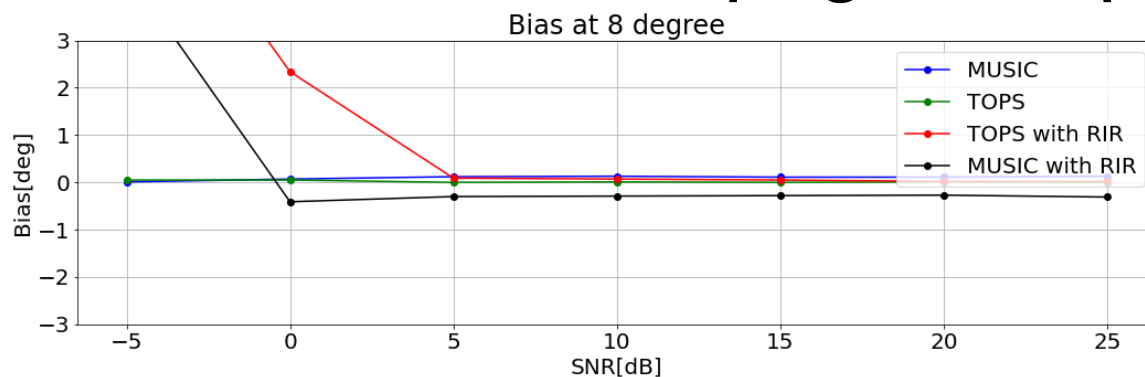
DOA[deg]: [7.6 37.9 63.8]

TOPS przy SNR = 0dB

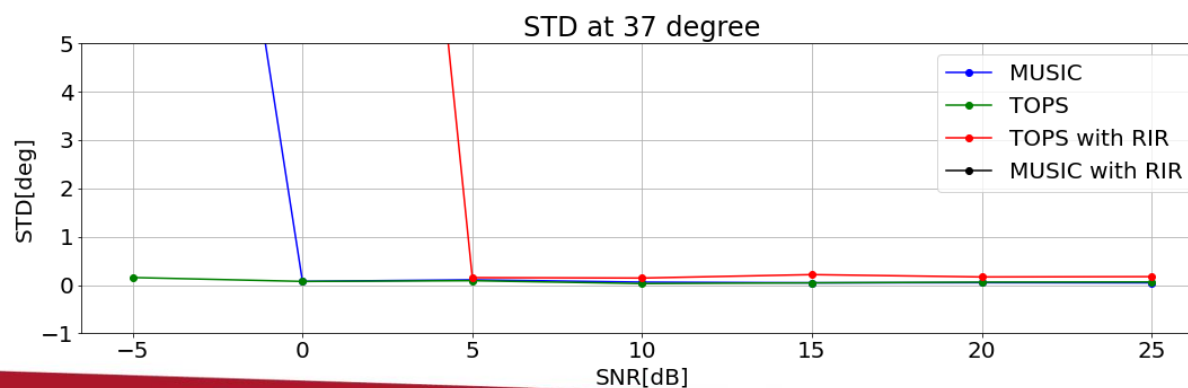
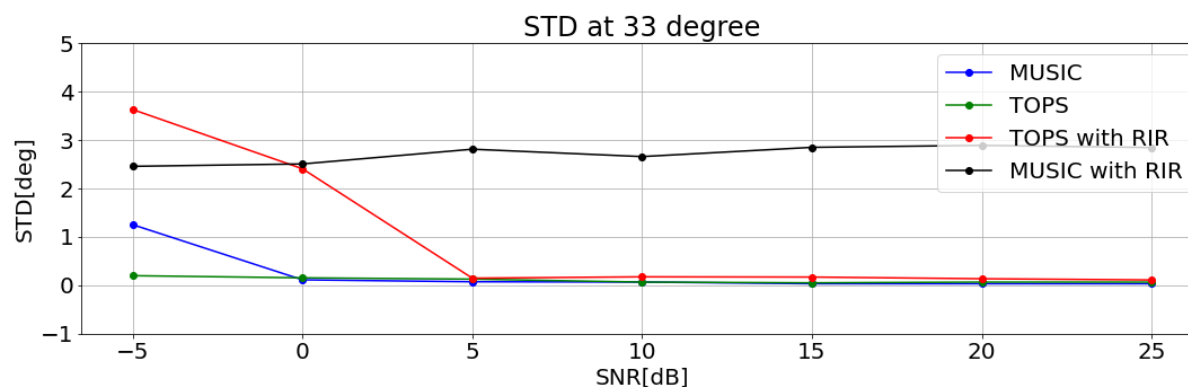
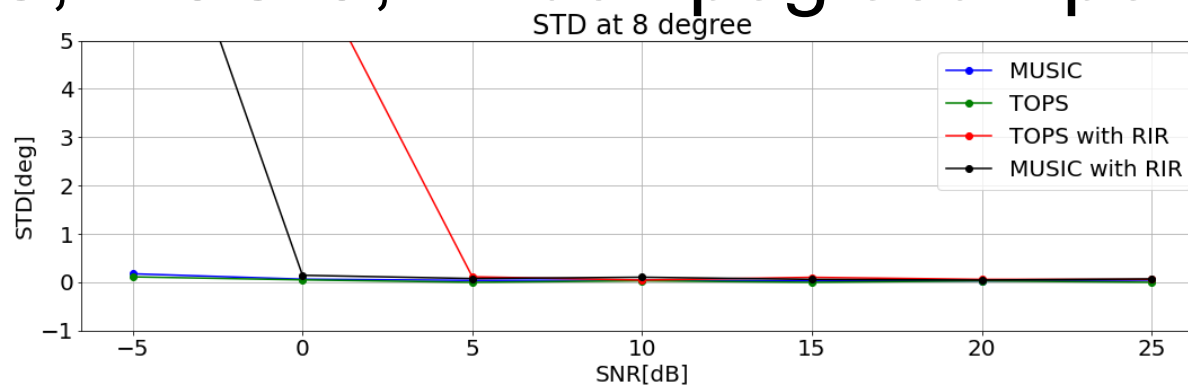


DOA[deg]: [8.1 31.2 39.6]

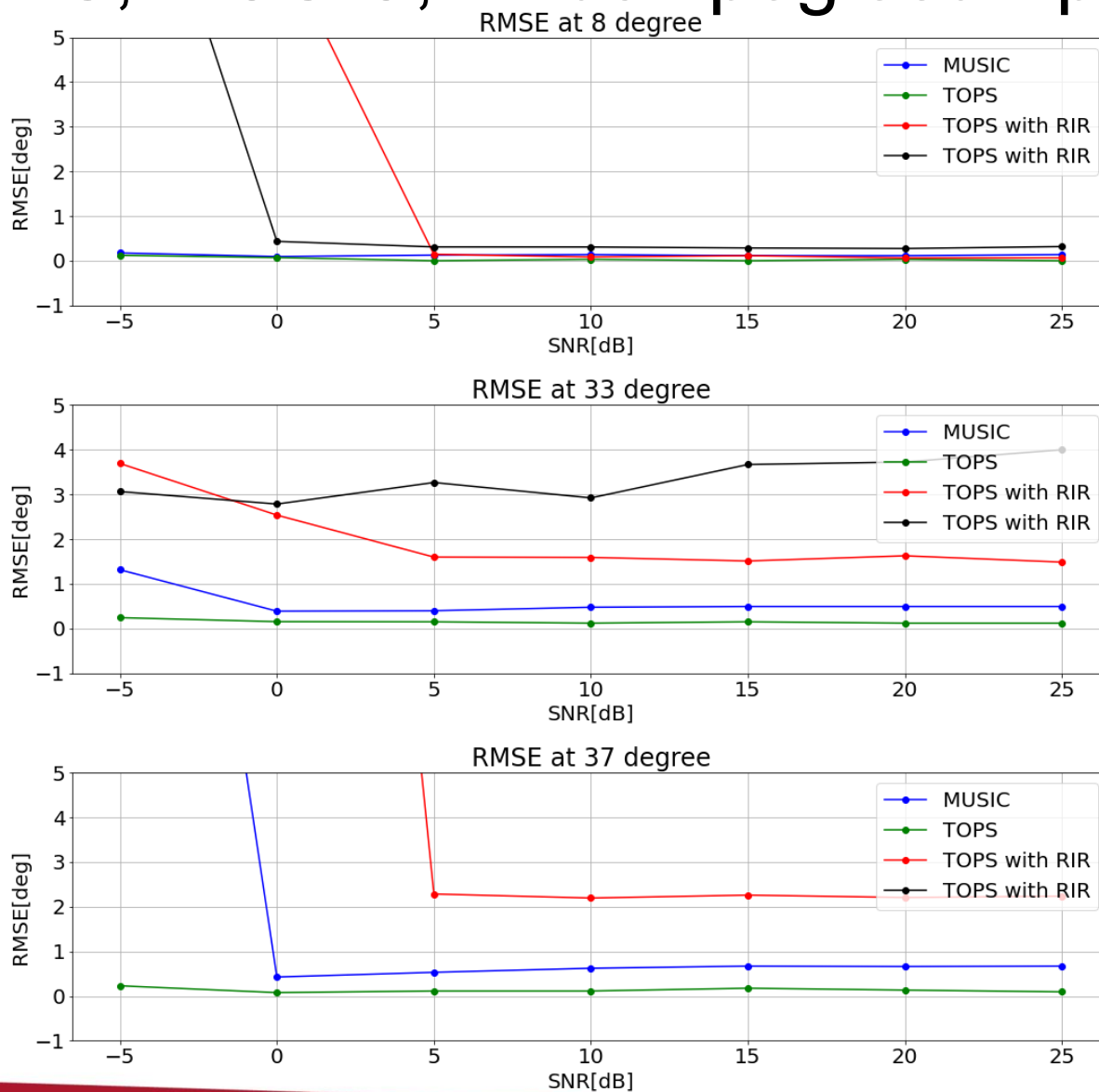
TOPS, MUSIC, z i bez pogłosu - porównanie



TOPS, MUSIC, z i bez pogłosu - porównanie



TOPS, MUSIC, z i bez pogłosu - porównanie



Dziękuję za uwagę

Źródło: Yeo-Sun Yoon, Lance M. Kaplan, James H. McClellan
„TOPS: New DOA Estimator for Wideband Signals”