kpt. dr inż. Mariusz BODJAŃSKI
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

WYBRANE ELEMENTY CYFROWEGO PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW W RADARZE FMCW

W artykule przedstawiono zasadę działania radaru FMCW. Na przykładzie zaprojektowanego w WITU radaru „Sowa", opisano wybrane metody cyfrowego przetwarzania sygnałów radiolokacyjnych.

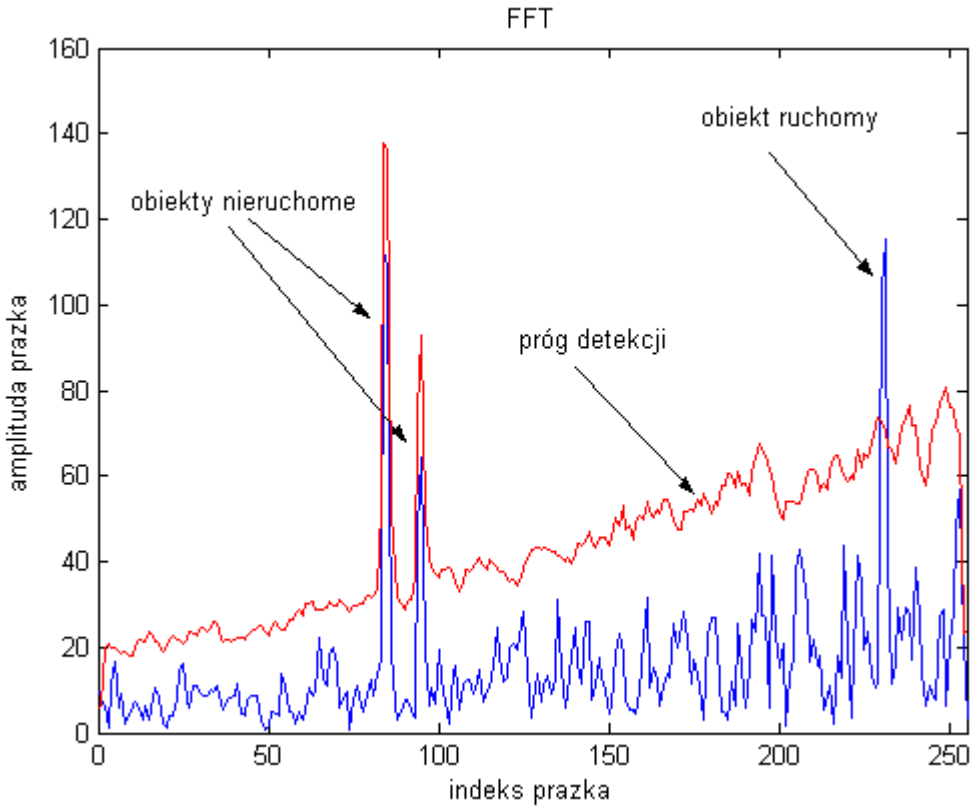
1. Wstęp

Radar FMCW[1] (z Liniową Modulacją Częstotliwości) pozwala na wykrycie i oszacowanie odległości do obiektów znajdujących się w wiązce radaru. Zasada działania radaru polega na sondowaniu przestrzeni sygnałem z liniową modulacją częstotliwości. Sygnał echa jest następnie poddawany przemianie częstotliwości i cyfrowej analizie widmowej FFT[2]. Położenie prążków (przekraczających założony próg detekcji) na osi częstotliwości jest wprost proporcjonalne do odległości między anteną radaru a obserwowanymi obiektami przestrzennymi. Podczas obrotu anteny, moduł widma odebranego sygnału z każdego sondowania, układany jest w kolumnach macierzy. Wiersze tej macierzy wyznaczają odległość, a kolumny określają położenie kątowe anteny radaru. W ten sposób powstaje siatka kątowo–odległościowa (jak na rysunku 2) z naniesioną informacją o potencjalnych obiektach znajdujących się w sektorze obserwacji.

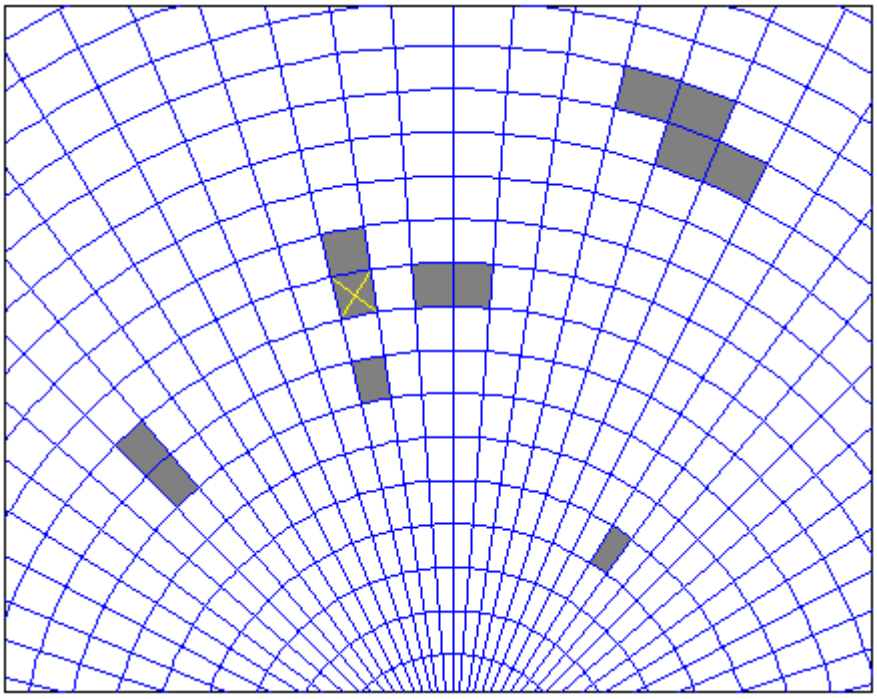
2. Próg detekcji

Celem stosowania progu detekcji jest rozdzielenie sygnałów ech użytecznych od sygnałów szumowych. Właściwe określenie tego progu będzie warunkować ilość fałszywych alarmów oraz stopień prawdopodobieństwa wykrycia celu. Powszechnie stosowaną metodą progowania sygnałów radiolokacyjnych jest metoda CFAR[3] (Stabilizacja Poziomu Fałszywego Alarmu) [3]. Metoda ta polega na obliczaniu poziomu progu na podstawie statystyk z pojedynczej realizacji odebranego sygnału. Natomiast w radarze *Sowa* zastosowano metodę bazującą na obliczaniu statystyk stosując uśrednianie po realizacji – „od obrotu do obrotu" dla konkretnej komórki kątowo–odległościowej [1]. Poziom progu dla danej komórki jest określany na podstawie wartości średniej i odchylenia standardowego w tej komórce. W efekcie takiego podejścia osiągnięto zdolność do rozróżniania obiektów o małej amplitudzie echa w obecności obiektów o dużej amplitudzie. Ponadto uzyskano zdolność do wyróżniania obiektów poruszających się oraz duży stopień adaptacji progu do zmiennych poziomów tła szumowego. Rysunek 1 ilustruje poziom progu detekcji na tle widma odebranego sygnału.

[1] Frequency Modulated Continuous Wave
[2] Fast Fourier Transform
[3] Constant False Alarm Rate



Rysunek 1 Widmo odebranego sygnału (linia niebieska), próg detekcji (linia czerwona)



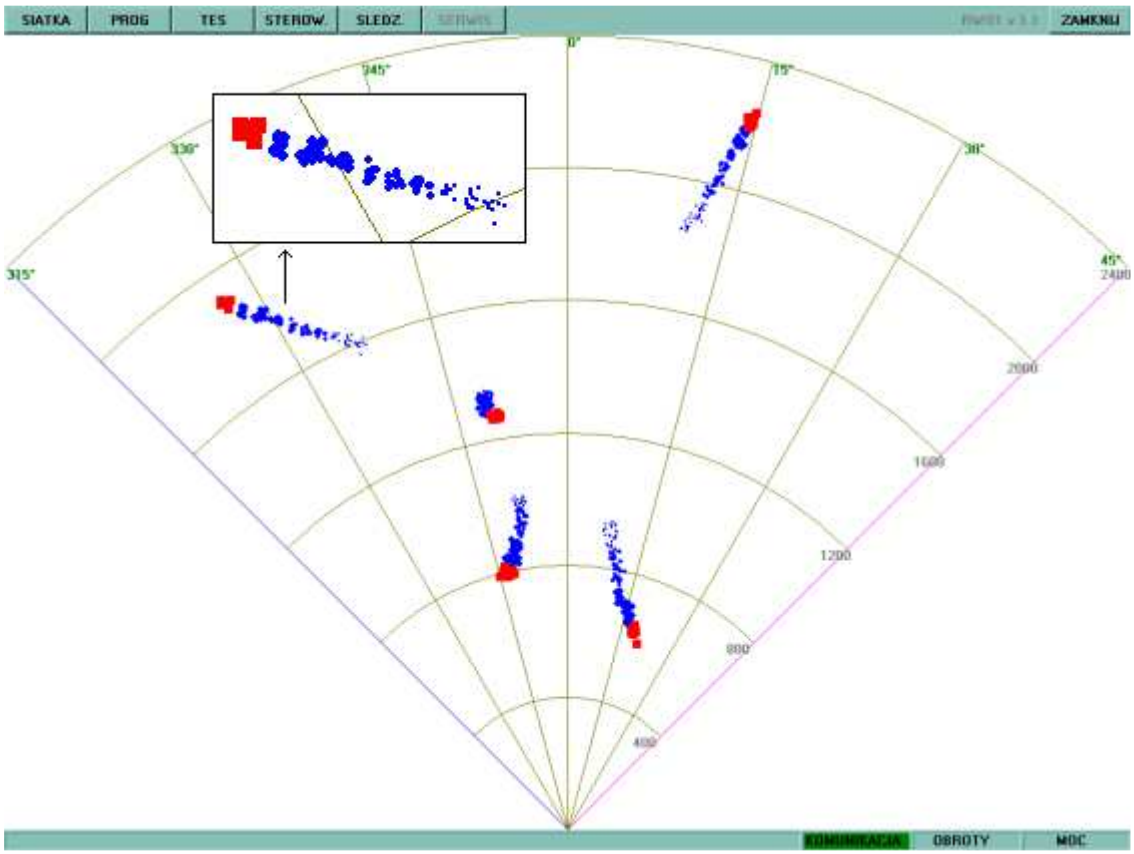
Rysunek 2 Fragment siatki kątowo–odległościowej. Ilustracja działania reguły '*k* z *n*'

3. Integracja paczki

Ruch obrotowy wiązki sondującej oraz określona szerokość charakterystyki antenowej wymusza konieczność analizy paczek impulsów radarowych. Po określeniu progu detekcji kolejnym etapem przetwarzania sygnału jest integracja paczki. Zastosowaną w radarze „Sowa" metodą integracji jest dwuwymiarowa filtracja typu '*k* z *n*'. Jest to proces, który polega na podejmowaniu decyzji o wykryciu wtedy, gdy spośród *n* przyległych komórek w siatce kątowo–odległościowej, co najmniej *k* prążków FFT przekracza założony próg detekcji. Na podstawie prążków spełniających wspomniane kryterium, obliczane są współrzędne wykrycia elementarnego. Pozwala to na zmniejszenie prawdopodobieństwa fałszywego alarmu, ponieważ ograniczony zostaje wpływ składowych szumu w widmie sygnału. Rysunek 2 ilustruje opisany wyżej algorytm. Szarym kolorem zaznaczono komórki, w których przekroczony został próg detekcji. Krzyżykami zaznaczono te komórki, które spełniają dwuwymiarową regułę '*3* z *4*'.

4. Fuzja wykryć elementarnych

Wykrycie elementarne (cząstkowe) to para współrzędnych (*x*,*y*) definiująca położenie wykrytego obiektu. Na skutek różnych (przedstawionych poniżej) czynników, wstępne procedury cyfrowego przetwarzania sygnału generują wiele takich wykryć, dotyczących jednego obserwowanego obiektu. W efekcie tego, na wskaźniku radaru powstają nieregularne obszary, utrudniające interpretacje sytuacji w wybranym sektorze obserwacji.

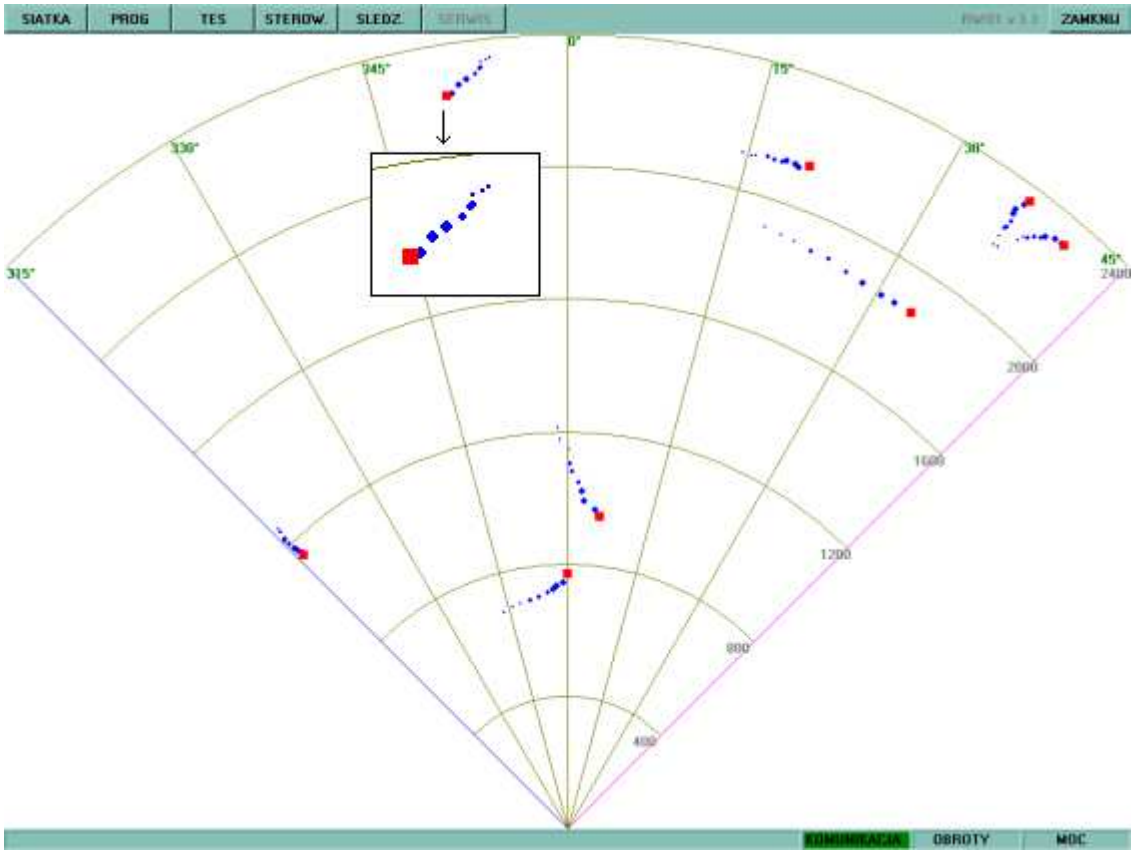


Rysunek 3 Widok wskaźnika radaru bez zastosowania fuzji wykryć elementarnych

W celu redukcji informacji wyświetlanej na wskaźniku w radarze „Sowa” zastosowano procedurę fuzji wykryć elementarnych. Polega ona na integracji przyległych wskazań w jedno syntetyczne wskazanie, jednoznacznie określające położenie obserwowanego obiektu (wykrycie globalne). Przyczyny powstawania wielokrotnych wykryć elementarnych są następujące:

- wielokrotne odbicia impulsu sondującego
- szerokość charakterystyki nadawczej i odbiorczej układu antenowego,
- ruch obrotowy wiązki sondującej,
- wymiary obserwowanego obiektu,
- rozdzielczość siatki kątowo–odległościowej pierwotnych procedur cyfrowego przetwarzania sygnału.

Rysunek 3 przedstawia widok wskaźnika radaru z zaznaczonymi wszystkimi wykryciami elementarnymi. Rysunek 4 przedstawia widok wskaźnika radaru z zastosowaniem fuzji wykryć elementarnych. Czerwone kwadraty wskazują aktualne położenie wykrytych obiektów. Niebieskie punkty wyznaczają historię ruchu.



Rysunek 4 Widok wskaźnika radaru z zastosowaniem fuzji wykryć elementarnych

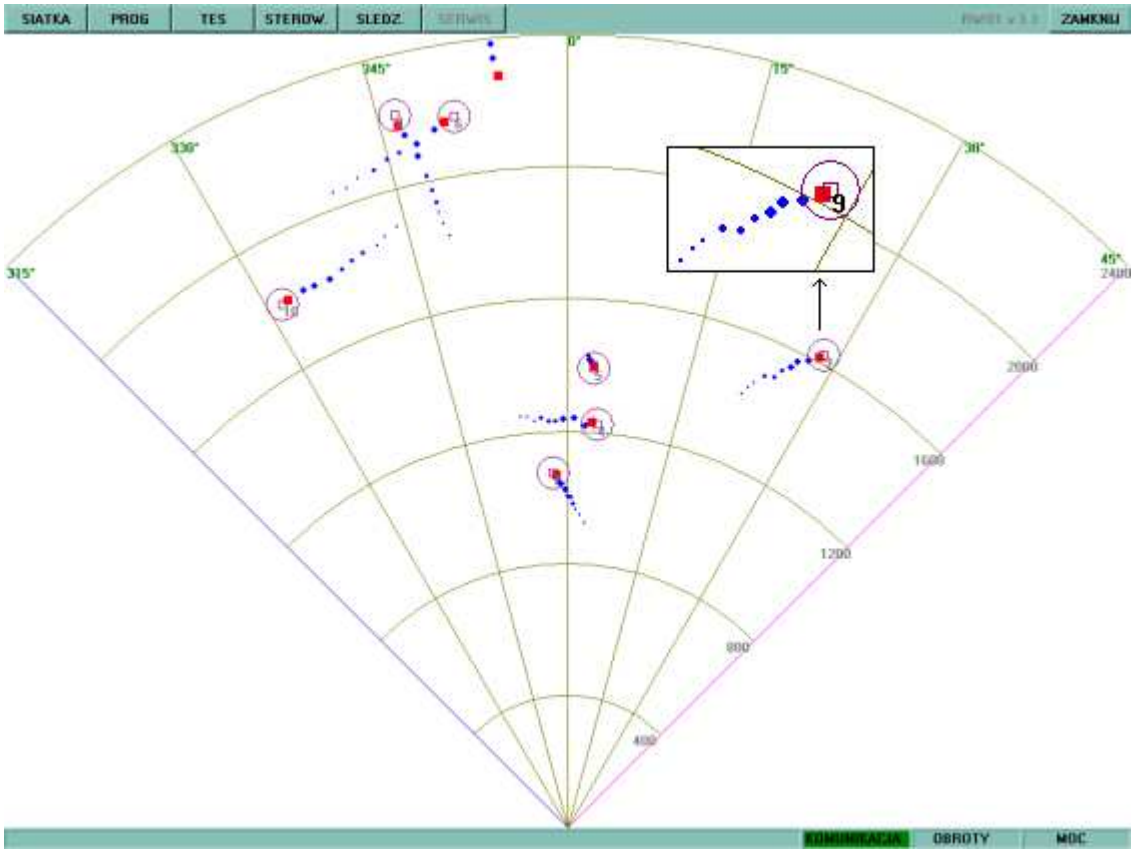
5. Śledzenie celów

Śledzenie jest procesem pozwalającym na wyznaczanie parametrów ruchu obserwowanego obiektu. Jedną z podstawowych metod śledzenia jest tzw. filtracja kalmanowska. Polega ona na wyznaczaniu estymaty położenia, prędkości i przyspieszenia śledzonego obiektu w każdym przedziale czasu odnowy informacji. W przypadku śledzenia wielu obiektów, należy użyć banku filtrów Kalmana oraz zastosować procedurę kojarzenia

tras. Kojarzenie jest procesem, w którym według określonych kryteriów, każde wykrycie globalne jest przydzielane do jednego z filtrów Kalmana. Proces śledzenia pozwala na szacowanie parametrów ruchu obiektu nawet przy wielokrotnych zanikach sygnału echa.

Na rysunku 5 pokazano widok wskaźnika radaru z zastosowaniem filtracji Kalmana. Kolorem purpurowym narysowano wartości określonych własności filtrów (kwadraty wyznaczają estymaty położenia obiektów, kółeczka wyznaczają wielkość pola kojarzenia tras). Liczba w kolorze szarym określa numer trasy.

W radarze „Sowa" zaimplementowano procedurę kojarzenia tras i śledzenia obiektów opartą o bank trzydziestu filtrów Kalmana. Oznacza to, że radar jest zdolny do śledzenia trzydziestu obiektów jednocześnie.



Rysunek 5 Widok wskaźnika radaru z zastosowaniem fuzji wykryć elementarnych oraz filtracji Kalmana

6. Podsumowanie

Opisane powyżej metody przetwarzania informacji zaimplementowano do oprogramowania radaru wykrywająco–ostrzegawczego „Sowa" w postaci funkcji i procedur. Właściwe wyznaczenie progu detekcji jest bardzo ważne z punktu widzenia ograniczania ilości przetwarzanych danych. Ze względu na dużą ilość analizowanej informacji oraz ograniczoną moc obliczeniową stosowanych procesorów, niezbędne jest odpowiednie selekcjonowanie danych liczbowych. Ma to szczególne znaczenie w warunkach zróżnicowania obserwowanego terenu (budynki, drzewa, krzaki, pagórki). Zadaniem integracji paczki jest dalsze zwiększanie stosunku sygnału użytecznego do szumu. Fuzja wykryć elementarnych oprócz poprawy przejrzystości obrazu na wskaźniku radaru, umożliwia również właściwe działanie banku filtrów Kalmana. Śledzenie jest ostateczną

procedurą, która w warunkach częstych zaników echa ma na celu wyznaczanie tras i parametrów ruchu poruszających się celów. Opisane w artykule metody w istotny sposób przyczyniają się do ograniczania liczby fałszywych alarmów i zwiększania prawdopodobieństwa wykrycia celu.

Literatura

[1] Bodjański M., Szugajew L., Jarzemski J., Lewandowski Z.: *Optymalizacja algorytmów obróbki informacji w radarze wykrywająco ostrzegawczym*, Sprawozdanie ze statutowej pracy naukowo-badawczej, WITU, Zielonka 2006.

[2] Szugajew L., Jarzemski J.: „Przenośny radar wykrywająco–ostrzegawczy RWO -1”, *Nowa Technika Wojskowa*, NTW nr 6/2005.

[3] Czekała Z.: *Parada Radarów*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 1999.