

RADARY OBSERWACJI POLA WALKI – PRZEGLĄD AKTUALNIE STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ

W artykule przedstawiono przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat radarów obserwacji pola walki. Przytoczono definicję radaru oraz podział na klasy według zastosowania, konstrukcji i funkcji. Uwzględniając rozwiązania techniczne przemysłu krajowego i zagranicznego, zaprezentowano przykłady radarów impulsowo-dopplerowskich oraz FMCW.

1. Wstęp

Radar to słowo utworzone na początku lat czterdziestych XX wieku z pierwszych liter angielskiego terminu "Radio Detection And Ranging" (detekcja oraz wyznaczanie odległości za pomocą fal radiowych) [2]. Do detekcji obiektów wykorzystuje się zjawisko odbicia fal radiowych od wykrywanych obiektów (najczęściej w tym celu wykorzystuje się pasmo mikrofal).

Jeżeli weźmie się pod uwagę zastosowania wojskowe i cywilne, to można wyróżnić między innymi następujące klasy radarów [6]:

- wykrywania i śledzenia w obronie przeciwlotniczej,
- wczesnego ostrzegania przed pociskami balistycznymi,
- kontroli ruch powietrznego,
- sterowania pociskami raketowymi i naprowadzania,
- kierowania środkami walki,
- identyfikacji „swoj-obcy”,
- nawigacji powietrznej i morskiej,
- kierowania podejściem do lądowania,
- wykrywania środków ogniowych,
- metrologiczne,
- pomiaru prędkości pojazdów przez policję drogową,
- obserwacji pola walki.

Biorąc pod uwagę szczegóły konstrukcji oraz metody działania, radary można podzielić między innymi na:

- impulsowe,
- impulsowo-dopplerowskie,
- z modulacją wewnątrz-impulsową,
- z falą ciągłą CW (*Continuous Wave*),
- z modulowaną falą ciągłą FMCW (*Frequency Modulation Continuous Wave*).

W dalszej części artykułu skupiono uwagę na radarach obserwacji pola walki wykorzystujących metodę impulsowo-dopplerowską oraz FMCW. Zaprezentowano przegląd konstrukcji i rozwiązań dotyczących urządzeń ostrzegawczych, radarów obserwacji pola walki oraz metod estymacji parametrów wykrytych obiektów.

2. Radar impulsowo–dopplerowski

Do wyznaczenia odległości do celu, radar impulsowo-dopplerowski wykorzystuje pomiar czasu potrzebnego na przebycie impulsu fal radiowych drogi między anteną radaru a celem. Dodatkowo wykorzystywane jest zjawisko przesunięcia dopplerowskiego wywołanego ruchem obiektów, od których następuje odbicie. W uproszczeniu można powiedzieć, że różnica częstotliwości między sygnałem nadawanym a odbieranym określa prędkość obserwowanych obiektów. Radary te charakteryzują się między innymi następującymi cechami:

- skomplikowana i zaawansowana technologicznie konstrukcja,
- duża moc impulsu sondującego,
- podatność na wykrycie przez przeciwnika,
- bezpośrednia informacja o prędkości obiektów,
- zdolność do tłumienia ech stałych, czyli wyróżniania tylko obiektów ruchomych.

3. Radar FMCW

Metoda FMCW pozwala na wykrycie i oszacowanie odległości do obiektów znajdujących się w wiązce radaru. Polega ona na sondowaniu przestrzeni sygnałem z liniową modulacją częstotliwości. Sygnał echa jest następnie poddawany analizie spektralnej. Położenie prążków (przekraczających założony próg detekcji) na osi częstotliwości jest wprost proporcjonalne do odległości między anteną radaru a obserwowanymi obiektami przestrzennymi [1]. Radary te charakteryzują się między innymi następującymi cechami:

- prosta i nieskomplikowana konstrukcja,
- mała moc sygnału sondującego,
- mała podatność na wykrycie przez przeciwnika,
- do oceny prędkości celu należy zastosować metodę pośrednią polegającą na śledzeniu trasy i analizie przesunięć w odległości.

4. Radary obserwacji pola walki – przegląd

4.1 MSTAR

Przenośny taktyczny radar obserwacji pola walki AN/PPS-5C MSTAR [5] (produkowany przez Thorn EMI Electronics) jest samodzielnym, lekkim, zasilanym z baterii, naziemnym radarem, używanym do wykrywania i lokalizacji poruszających się celów. Pojedyncze i wielokrotne poruszające się cele mogą być wykrywane w wybranym obszarze, sięgającym 24 km. Wykrywanie dużych pojazdów jest możliwe na odległość do 15 km, małych pojazdów na odległość do 10 km i pojedynczych żołnierzy na odległość do 7 km. Wykrywanie jest możliwe w obszarze kątowym 355.8° . Cztery wybrane częstotliwości umożliwiają pracę wielu urządzeń na danym obszarze (w odległości powyżej 200 metrów między nimi) bez wzajemnych zakłóceń.

Radar umożliwia wskazywanie ruchomych celów MTI (*Moving Target Indication*), wykorzystując impulsową technikę Dopplera do wykrywania i lokalizacji ruchomych celów. Informacje radaru są zobrazowane na płaskim ekranie sterowanym klawiaturą i myszką. Pokazywane są dane alfanumeryczne lub mapy celów, zależnie od wybranego trybu pracy. Automatyczny test wewnętrzny BIT (*Built In Test*) pozwala użytkownikowi na lokalizację niesprawności w głównych zespołach.



Rysunek 1 Radar obserwacji pola walki AN/PPS-5C MSTAR

Podstawowe parametry radaru

zasięg wykrywania	40 m do 24 km
rozdzielczość wykrywania	15 m
sektor wykrywania	75 do 6325 tysięcznych
sektor śledzenia	196 do 710 tysięcznych
azymut środka skanowania	0 do 6400 tysięcznych
szybkość skanowania:	
tryb wykrywania	320 tysięcznych/s
tryb śledzenia	160 tysięcznych/s

4.2 SQUIRE

SQUIRE [4] to cichy LPI (*Low Probability of Intercept*), lekki, przenośny radar obserwacji pola walki, produkowany przez firmę Signaal. Potrafi on wykryć pojedynczego człowieka w ruchu na dystansie do 10 km (maksymalny zasięg wynosi 48 km). Automatyczna klasyfikacja wykrytych celów pomaga operatorowi w rozpoznaniu własności obserwowanych obiektów. SQUIRE może być montowany na pojazdach oraz integrowany z innymi systemami dowodzenia i rozpoznania (system obserwacji optycznej, systemy teleinformatyczne i łączności, system kierowania ogniem). Radar może zostać wyposażony w odbiornik GPS oraz kompas.

Metoda FMCW pozwala na osiągnięcie szeregu różnych korzyści. SQUIRE jest lekki i posiada niewielkie rozmiary. Bardzo niska moc nadajnika (maksymalnie 1 W) sprawia, że wykrycie stanowiska radaru przez przeciwnika jest bardzo trudne.



Rysunek 2 Radar obserwacji pola walki SQUIRE

Podstawowe parametry radaru:

częstotliwość pracy	10.1 ÷ 10.4 GHz
waga (bez baterii)	44 kg
moc nadajnika	1 W
temperatura pracy	-31°C ÷ 49°C
przetwarzanie sygnału	kompresja impulsu: 42 dB max FFT: 512 x 128 (odległość – prędkość) CFAR: tak
Interfejs wymiany danych	RS232
prędkość skanowania	na sekundę
sektor obserwacji	7° ÷ 360° (zakres napędu ±270°)
klasyfikacja celu	automatyczna lub audio
zasilanie	24 VDC (18-30 VDC), 80 W
czas pracy	12 14 h (baterie ładowalne) 8 h (baterie jednorazowe)
zasięg wykrywania	człowiek: 10 km pojazd: 40 km
dokładność	odległość: 5 m azymut: 5 mils
zasięg zdalnego sterowania	100 m (kabel dwużyłowy)

4.3 RPW-10

Radar RPW-10 [3] (produkowany przez Przemysłowy Instytut Telekomunikacji) jest przenośnym radarem obserwacji pola walki średniego zasięgu, przeznaczonym do wykrywania, lokalizowania i klasyfikowania różnego rodzaju ruchomych obiektów naziemnych lub nawodnych. Radar RPW - 10 jest zbudowany z przenośnych modułów, dzięki czemu możliwe jest jego szybkie rozwijanie w dowolnym terenie. System oparty jest na radarze o zmodulowanej częstotliwościowo fali ciągłej. Dzięki bardzo małej mocy

prawdopodobieństwo wykrycia radaru przez przeciwnika jest bardzo niskie. Możliwe jest wykorzystanie radaru do celów bezpieczeństwa wewnętrznego, np. do mobilnego nadzoru terenów przygranicznych bądź stref chronionych. Radar RPW-10 spełnia wysokie wymagania na wykrywanie małych obiektów i charakteryzuje się dużą dokładnością.

Zastosowane dwuwymiarowe przetwarzanie FFT (*Fast Fourier Transform*) pozwala estymować prędkość radialną celu. Aktualnie prowadzone prace rozwojowe, które pozwolą wkrótce zaimplementować funkcję klasyfikacji dźwiękowej celu na podstawie analizy mikrodopplerowskiej.



Rysunek 3 Radar obserwacji pola walki RPW-10

Podstawowe parametry radaru:

częstotliwość pracy	pasmo X
moc nadajnika	1 mW do 1 W
modulacja sygnału	liniowa częstotliwościowa (FM) (dewiacja 900, 1000, 1100 Hz)
zasięg instrumentalny	1.5; 3; 6; 12; 24 km
zasięg wykrywania	5 km (pieszy); 10 km (pojazd); 17 km (czołg)
napęd anteny	w sektorze $\pm 90^\circ$
szybkość przeszukiwania	($14^\circ/s$; $7^\circ/s$; $0^\circ/s$)
pozycjonowanie anteny	0° do 360°
rozmiary komórki zasięgowej	3 m dla 1.5 km; 48 m dla 24 km
zakres prędkości radialnej celu	75 m/s
rozróżnialność prędkości radialnej	1 m/s

przetwarzanie sygnału	2-wymiarowe FFT
MTI	zał/wył
zasilanie systemu	24 V DC/100 W

4.4 SOWA

Przenośny radar wykrywająco–ostrzegawczy Sowa [6] został zaprojektowany i wykonany w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia w kooperacji z Rawarem. Przeznaczony jest do wykrywania i określania współrzędnych (odległość, azymut) obiektów ruchomych. Może być wykorzystywany przez służby graniczne, policyjne, oddziały specjalne lub inne jednostki jako jeden z elementów systemu dozoru określonego obszaru lub urządzenie sygnalizujące pojawienie się ruchomych obiektów w nadzorowanym obszarze.

Radar Sowa przystosowany jest do pracy w warunkach polowych w klimacie umiarkowanym. Jest kropłoszczelny i pyłoszczelny. Zapewnia ciągłą, dookólną pracę z możliwością włączania i regulacji dwóch sektorów promieniowania mocy oraz pracę w trybie z zatrzymaną anteną. Wszystkie nastawy i regulacje są ustawiane zdalnie z wynośnego pulpitu (łączość radiowa pomiędzy radarem a pulpitem sterującym do 100 m). Menu funkcjonalne pulpitu wynośnego jest rozwijane interaktywnie w zależności od aktualnie wykonywanych operacji.



Rysunek 4 Radar wykrywająco–ostrzegawczy Sowa

Podstawowe parametry:

zasięg wykrywania	do 2.4 km (opcjonalnie do 4 km)
moc nadajnika	do 4 W
częstotliwość pracy	pasmo K
zakresy odległości wykrywania	300, 600, 1200 i 2400 m
metoda przetwarzania sygnału	FMCW, 1024-punktowa FFT
czas pracy	z jednego zestawu akumulatorów – do 4 h z dodatkowymi akumulatorami – do 8 h (w zależności od trybu pracy radaru i warunków klimatycznych)
masa	ok. 8 kg dla radaru zasadniczego z akumulatorem i wskaźnikiem wyośnym ok. 2 kg dla elementów dodatkowych (torba, akumulator dodatkowy)
prędkość przeszukiwania	regulowana od 0 do 20 obr/min
temperatura pracy	-30°C ÷ +50°C przy maksymalnej wilgotności względnej 95%
zasilanie	z zewnętrznych źródeł: prądem stałym 10 ÷ 30V lub zmiennym 230V 50Hz

5. Podsumowanie

W obecności ograniczonej widoczności (noc, złe warunki atmosferyczne, zasłony dymne) radar umożliwia przedłużenie zasięgu obserwacji wzrokowej na współczesnym polu walki. Radar obserwacji pola walki jest przeznaczony do wykrywania ludzi, pojazdów oraz nisko lecących śmigłowców. Realizuje podobne zadania i funkcje jak radar obserwacji przestrzeni powietrznej. W porównaniu z innymi typami radarów wyróżniają go następujące własności:

- małe gabaryty i waga,
- niewielki zasięg (kilka kilometrów),
- powinien być przenoszony przez pojedynczego żołnierza,
- krótki czas przygotowania do pracy,
- prosta i nieskomplikowana obsługa.

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] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [3] <http://www.pit.edu.pl/index.php?p=oferta&id=13&idk=7>
- [4] https://peoiewswebinfo.monmouth.army.mil/portal_sites/IEWS_Public/RUS/sensorcat/PDF/SQUIRE-LPI-MSSC.pdf
- [5] Przenośny taktyczny radar pola walki AN/PPS-5C, Instrukcja użytkownika, System & Electronics Inc., 2001.
- [6] Szugajew L., Jarzemski J.: „Przenośny radar wykrywająco – ostrzegawczy RWO -1”, *Nowa Technika Wojskowa*, NTW nr 6/2005.