

SYSTEMY TRAJEKTOGRAFICZNE JAKO NARZĘDZIE OCENY PARAMETRÓW LOTU OBIEKTÓW LATAJĄCYCH TECHNIKI WOJSKOWEJ I CYWILNEJ

Artykuł omawia typy współczesnych systemów trajektograficznych używanych podczas badań obiektów latających techniki wojskowej i cywilnej do określania parametrów trajektorii ich lotu. Przedstawiono cechy charakterystyczne systemów, porównano ich zalety i wady.

1. Wprowadzenie

Od momentu pojawienia się obiektów latających, a w szczególności obiektów techniki wojskowej takich jak: samoloty, rakiety kierowane i niekierowane, bomby lotnicze kierowane i niekierowane, pociski artyleryjskie itp., zaistniała potrzeba ich śledzenia oraz rejestracji ich położenia w locie.

Potrzeba ta wynikała z konieczności dokonania oceny poprawności działania obiektu latającego w warunkach dynamicznych (w czasie lotu) na etapie opracowywania prototypu lub prowadzenia ekspertyz, a także podczas dynamicznych badań odbiorczych (badań strzelaniem lub badań oblotami). Podstawą do dokonania tej oceny jest znajomość parametrów trajektorii lotu badanych obiektów. Danymi wejściowymi do uzyskania tych parametrów są dane o położeniu obiektu rejestrowane w czasie jego lotu.

Urządzeniami służącymi do uzyskiwania danych o położeniu obiektu, a następnie do obliczania parametrów trajektorii lotu obiektów są systemy trajektograficzne. Rozwój tego typu urządzeń rozpoczyna się w latach 1949 –1950. Wraz z rozwojem techniki urządzenia te ulegają modyfikacjom i udoskonaleniom.

Zasadniczym zadaniem systemu trajektograficznego jest śledzenie za obiektem i rejestracja (pomiar) jego położenia w czasie lotu. Proces ten jest realizowany przy pomocy stacji śledzącej. Dane o położeniu obiektu otrzymane ze stacji śledzącej są następnie poddawane komputerowej obróbce matematycznej, w wyniku, której otrzymujemy interesujące nas parametry trajektorii lotu.

2. Typy systemów trajektograficznych

Podział na typy systemów trajektograficznych wynika z rodzaju stosowanych na stacjach śledzących urządzeń do rejestrowania położenia obiektu w locie. Rozróżniamy systemy:

- a) **optyczne**, w których obraz obiektu śledzonego jest rejestrowany poprzez lunety optyczne na taśmie filmowej kamer zamontowanych na stacjach śledzących.

W czasie śledzenia, na taśmie filmowej rejestrowane są również dane o położeniu obiektu;

- b) **optoelektroniczne**, w których obraz śledzonego obiektu i dane o położeniu obiektu rejestrowane są poprzez zamontowane na stacjach śledzących kamery telewizyjne (typu CCD, CMOS) lub kamery podczerwieni (IR) na taśmie wideorejestраторów lub na nośnikach pamięci komputerowej. W trakcie śledzenia rejestrowane są również dane o położeniu obiektu;
- c) **radarowe**, w których położenie obiektu określane jest na podstawie danych rejestrowanych z głowicy radiolokatora i zapisywanych w urządzeniach rejestrujących;
- d) **GPS-owe**, które do określania współrzędnych trajektorii lotu wykorzystują dane z Globalnego Systemu Pozycjonowania, którego urządzenia odbiorcze zamontowane są na pokładzie obiektu. Dane o położeniu zapisywane są w urządzeniach rejestrujących na pokładzie obiektu lub w naziemnych urządzeniach odbiorczych.

Systemy optyczne i optoelektroniczne mogą być wyposażone w urządzenia śledzące sterowane:

- ręcznie – operator (operatorzy) śledzi za badanym obiektem z wykorzystaniem przyrządów optycznych i steruje ręcznie napędami układów nadążnych stacji śledzącej.
- automatycznie.

Do automatycznego śledzenia:

- w systemach optycznych są montowane dodatkowo na stacjach śledzących niezależne urządzenia śledzące automatycznie za obiektem. Najczęściej z radarową głowicą śledzącą lub podczerwieni.
- w systemach optoelektronicznych wykorzystywane są bezpośrednio głowice śledzące stacji (telewizyjne lub podczerwieni) z układem wideotrackera, które umożliwiają automatyczne śledzenie za obrazem wideo obiektu, uzyskiwanym z kamery telewizyjnej lub kamery podczerwieni.

Niekiedy na stacjach z optoelektronicznym systemem śledzącym stosuje się dodatkowo głowice śledzące radiolokacyjne w celu umożliwienia przechwyty i śledzenia obiektu przez stację śledzącą optoelektroniczną na dalekich odległościach, przy braku dobrej widoczności.

Systemy radarowe i GPS-owe należą do systemów ze śledzeniem automatycznym.

Wszystkie systemy trajektograficzne wykorzystujące automatyczne urządzenia do śledzenia za obiektem mogą pracować w czasie rzeczywistym, to znaczy, że podstawowe parametry trajektorii lotu otrzymujemy w czasie rzeczywistym (w trakcie trwania próby). Nie mają tej możliwości systemy z ręcznym śledzeniem. W tym przypadku parametry trajektorii otrzymujemy dopiero po próbie, po dodatkowej obróbce danych zarejestrowanych w trakcie śledzenia.

Stacje śledzące systemów trajektograficznych mogą być montowane na stacjonarnych stanowiskach lub na mobilnych platformach.

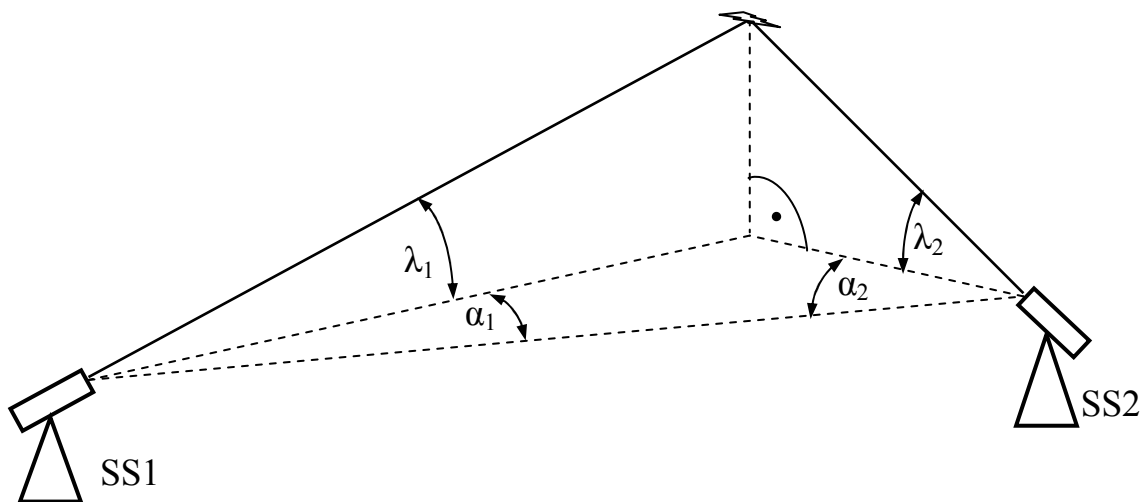
3. Ogólna charakterystyka systemów trajektograficznych

3.1. Optyczne i optoelektroniczne systemy trajektograficzne

Zasadnicze części składowe systemu trajektograficznego są następujące:

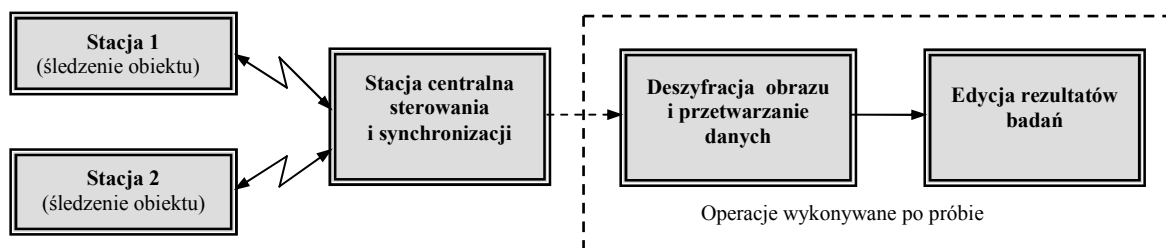
- stacje śledzące i rejestrujące położenie obiektu;
- stacja centralna synchronizująca i sterująca pracą stacji śledzącej;
- stacja przetwarzania danych.

Stacje śledzące optyczne i optoelektroniczne należą do systemu pomiarowego typu 2D, to znaczy, że umożliwiają określenie tylko położenia kąowego obiektu (kąt azymutu α i elewacji λ). W praktyce, więc do określenia współrzędnych (X, Y, Z) trajektorii śledzonego pojedynczego obiektu konieczne są dwie stacje śledzące (rys.1). Na podstawie wartości pomierzonych kątów i znanej lokalizacji stacji pomiarowych obliczane są z wykorzystaniem algorytmów triangulacyjnych parametry położenia obiektu.



Rys.1. Schemat pomiarowy systemu trajektograficznego optycznego lub optoelektronicznego typu 2D do określania parametrów lotu obiektu.

W przypadku oceny parametrów lotu pojedynczych obiektów (samolot, rakiet balistyczna, rakiet przeciwpancerna) stosowane są dwie stacje śledzące. Schemat funkcjonalny tego przypadku pokazany jest na rys. 2.

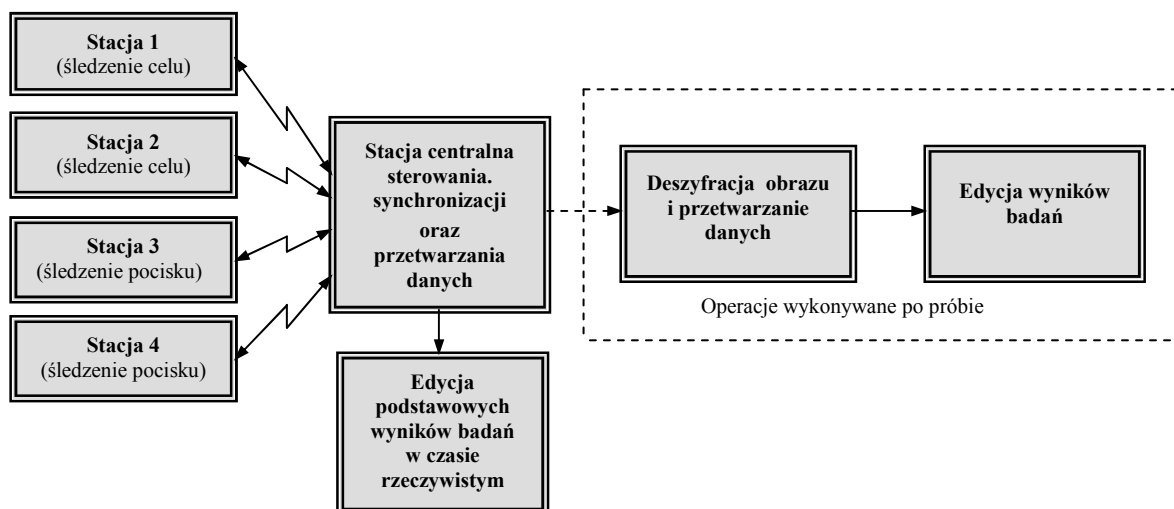


Rys.2. Schemat funkcjonalny systemu trajektograficznego optycznego lub optoelektronicznego typu 2D w konfiguracji do określania parametrów lotu jednego obiektu

Dla oceny zestawów przeciwlotniczych strzelających do ruchomego celu, stosuje się minimum dwie stacje do śledzenia badanego obiektu (rakiety, pocisku lub serii pocisków) oraz dwie stacje do śledzenia celu. Funkcjonalny schemat systemu trajektograficznego złożonego z czterech stacji śledzących wraz z systemem przetwarzania danych w czasie rzeczywistym przedstawiono na rys. 3.

W przypadku systemów pracujących w czasie rzeczywistym podstawowe parametry trajektorii lotu obiektu: położenie (X, Y, Z) , prędkości (V_x, V_y, V_z, V) ,

(przyspieszenia A_x , A_y , A_z , A) otrzymujemy w czasie rzeczywistym. Docelowa, dokładna obróbka danych odbywa się po próbie.



Rys.3. Schemat funkcjonalny systemu trajektograficznego optycznego lub optoelektronicznego typu 2D w konfiguracji do jednoczesnego określania parametrów lotu dwóch obiektów (np. podczas badań zestawów przeciwlotniczych)

Przykład stacji śledzących optycznych i optoelektronicznych pracujących w układzie pomiarowym 2D przedstawiono na rys. 4 i rys. 5.

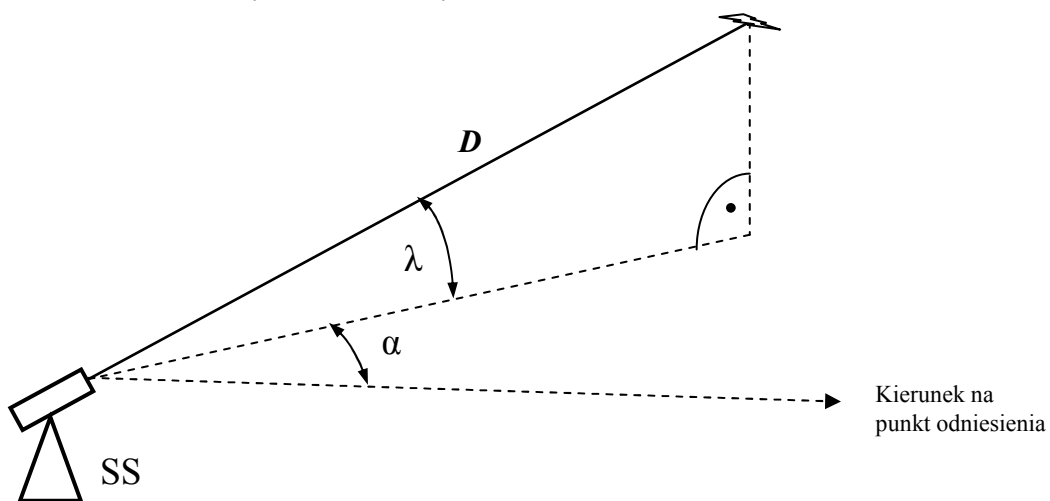


Rys.4. Stacja śledząca optyczna EOTS-F firmy CONTRAVES – Szwajcaria z kamerą filmową i z możliwością sterowania ręcznego lub automatycznego z wykorzystaniem głowicy na podczerwień



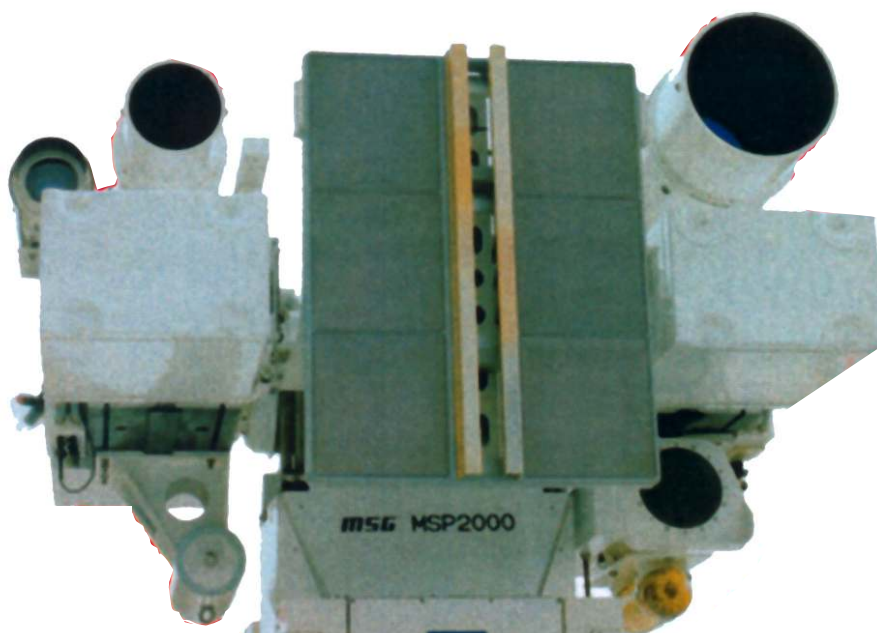
Rys. 5. Stacja śledząca optoelektroniczna wielosensorowa z automatycznym śledzeniem z wykorzystaniem wideotrakera IR i TV z kamerami filmowymi oraz z kamerą wideo zdjęć szybkich, produkcji firmy L-3 BRASHEAR - USA

Stosowane są również rozwiązania w systemach trajektograficznych z pojedynczą stacją optyczną lub optoelektroniczną do śledzenia obiektu i określania jego położenia (rys. 6) Stacje te, wyposażone są w dodatkową głowicę śledzącą radiolokacyjną lub dalmierz laserowy. W tym przypadku stacja śledząca pracuje w układzie pomiarowym typu 3D, to znaczy, że oprócz pomiaru kątów położenia obiektu (azymutu α i elewacji λ), które określane są przy pomocy głowicy optycznej lub optoelektronicznej, dokonuje się również pomiaru odległości do obiektu (D) przy pomocy głowicy radiolokacyjnej lub przy pomocy dalmierza laserowego. W czasie rzeczywistym z jednej stacji śledzącej uzyskujemy podstawowe parametry lotu obiektu ($X, Y, Z, V_x, V_y, V_z, V, A_x, A_y, A_z, A$).



Rys.6. Schemat pomiarowy systemu trajektograficznego optycznego lub optoelektronicznego typu 3D do określania parametrów lotu obiektu.

Przykład optoelektronicznej stacji śledzącej z głowicą radiolokacyjną pokazany jest na rys. 7.



Rys. 7. Stacja optoelektroniczna firmy Oerlikon Contraves z kamerami filmowymi i kamerą IR wyposażona w radiolokacyjny układ śledzący, pracująca w układzie pomiarowym 3D.

W przypadku stosowania optycznych i optoelektronicznych stacji śledzących danymi wejściowymi do procesu obliczania parametrów trajektorii lotu celu i pocisku są dane uzyskane w wyniku deszyfracji obrazu z kamer filmowych (dla systemów optycznych) lub z kamer wideo (TV lub IR) dla systemów optoelektronicznych. Na rys. 8 przedstawiono obraz z kamery filmowej stacji śledzącej pokazanej na rys. 4 i na rys. 7. Na zdjęciu widoczny jest rastr zawierający zakodowane dane: czas zdjęcia, kąt azymutu oraz kąt podniesienia osi optycznej obiektywu kamery.

W wypadku obrazu z kamer TV lub IR otrzymujemy obraz wideo, na którym dane: czas zdjęcia, kąt azymutu oraz kąt podniesienia osi optycznej obiektywu kamery, są zapisane w nakładce alfanumerycznej (rys. 9).

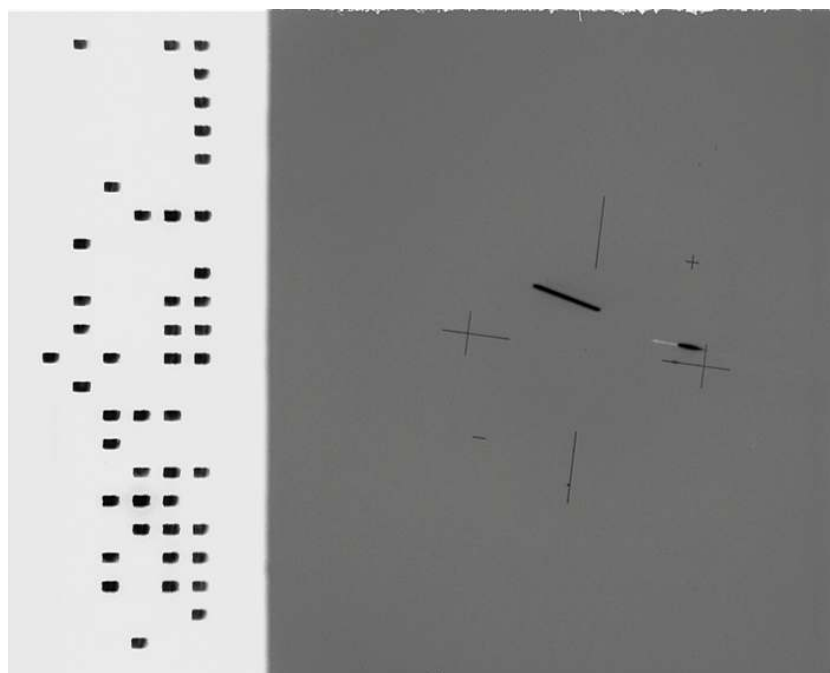
Dane te są analizowane i deszyfrowane przy pomocy odpowiednich urządzeń deszyfrujących.

W wyniku deszyfracji obrazu dla każdej stacji otrzymujemy zbiór danych, który zawiera dla każdej klatki:

- t – czas;
- α_p, λ_p – względne kąty (przyrosty) dotyczące położenia osi optycznej kamery;
- $\Delta\alpha_p, \Delta\lambda_p$ – poprawki kątów dla śledzonych obiektów wynikające z ich odchylenia od osi optycznej kamery;
- dane kalibracyjne;
- dane identyfikacyjne lotu i śledzonych obiektów.

W wyniku matematycznej obróbki tych danych otrzymujemy wszystkie niezbędne parametry trajektorii lotu śledzonego obiektu, oraz w wypadku obiektów

naprowadzanych na cel uzyskujemy również wielkość uchybu do celu i jego składowe.



Rys.9. Widok klatki filmowej z kamery stacji śledzącej systemu trajektograficznego firmy CONTRAVES. W środkowej części kadru widoczny z lewej strony imitator celu, a z prawej pocisk rakietowy. Z lewej strony kadru widoczny rastr z zakodowanymi: czasem zdjęcia i kątami położenia osi optycznej stacji śledzącej.



Rys.10. Widok klatki ze śledzonym obiektem z kamery TV (CCD).

3.2. Radiolokacyjne systemy trajektograficzne

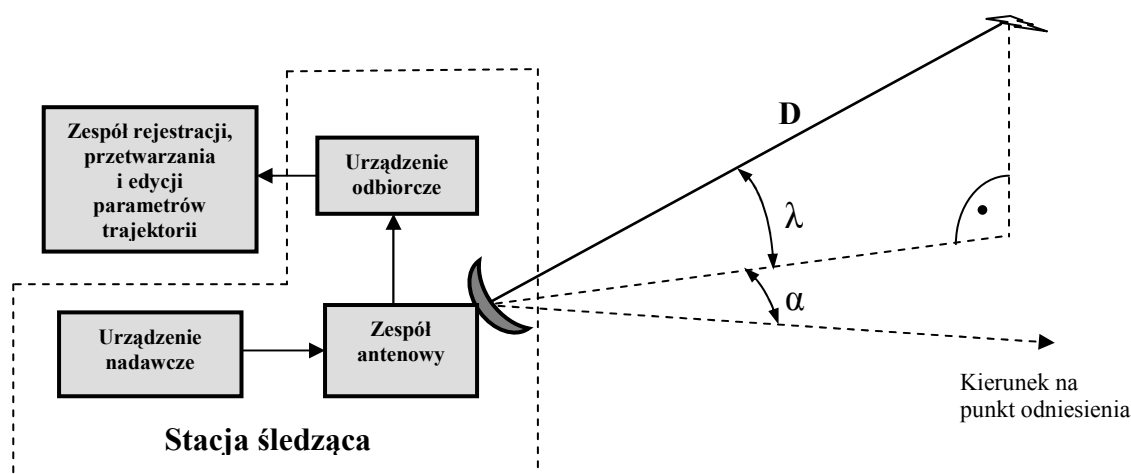
W skład radiolokacyjnego systemu trajektograficznego wchodzi:

- stacja śledząca, składająca się z urządzenia nadawczo-odbiorczego i zespołu antenowego;
- zespół rejestracji pomiarów, przetwarzania i edycji danych w czasie rzeczywistym.

Zasadniczym elementem radiolokacyjnego systemu trajektograficznego jest stacja radiolokacyjna do śledzenia za badanym obiektem. Systemy radarowe pracują w układzie pomiarowym 3D. To znaczy, że do określenia współrzędnych położenia obiektu (X , Y , Z) wystarczy jedna stacja śledząca. Stacja realizuje pomiar kąta azymutu α , elewacji λ , oraz odległości D (rys. 11). Zespół rejestracji i przetwarzania danych obrazuje w czasie rzeczywistym parametry lotu śledzonego obiektu.

W zależności od sposobu uzyskiwania sygnałów radiolokacyjnych od śledzonego obiektu, które odbierane są przez urządzenia odbiorcze stacji śledzącej, rozróżniamy systemy trajektograficzne wykorzystujące radiolokację:

- pasywną (nadajnik - źródło sygnałów radiowych znajduje się na pokładzie, śledzonego obiektu, a odbiornik sygnałów na naziemnej stacji śledzącej);
- aktywną (nadajnik i odbiornik sygnałów radiowych znajduje się na naziemnej radiolokacyjnej stacji śledzącej);
- z aktywną odpowiedzią (urządzenia odzewowe znajdują się na pokładzie śledzonego obiektu).



Rys. 11. Schemat blokowy radiolokacyjnego systemu trajektograficznego

W praktyce dla potrzeb pomiarów trajektograficznych stosowane są głównie aktywne stacje śledzące, które nie wymagają montowania na pokładzie śledzonego obiektu źródeł emisji promieniowania radiowego.

W zależności od wymaganego zasięgu śledzenia i wielkości powierzchni skutecznej obiektu, stosuje się stacje o różnych mocach nadajników i generujące fale o różnej długości. Mogą to być stacje generujące sygnały radiolokacyjne impulsowo lub z falą ciągłą.

Przy dużych zasięgach (do kilkuset kilometrów) śledzenia obiektów o dużych gabarytach (samolot, rakiet balistyczna) stosuje się stacje pracujące w zakresie fal decymetrowych lub metrowych.

Przy mniejszych zasięgach (do kilkudziesięciu kilometrów) stosowne stacje pracujące w pasmie centymetrowym i decymetrowym. Do śledzenia obiektów małowymiarowych na małych odległościach (maksimum do kilku kilometrów) stosuje się również stacje pracujące w pasmie milimetrowym.

Należy zaznaczyć, że praktycznie im mniejsza długość fali, tym mniejszy jest błąd stacji w określaniu położenia. Wynika to z możliwości uzyskiwania lepszych (węższych) charakterystyk kierunkowych anteny oraz z możliwości śledzenia obiektów o mniejszych powierzchniach skutecznych i z możliwości dokładniejszego pomiaru odległości do obiektu.

W wielu przypadkach podczas badań, jeśli jest to możliwe, w celu zwiększenia zasięgu stacji śledzącej montuje się na pokładzie śledzonego obiektu elementy zwiększające jego powierzchnię skuteczną (odbijacze radiolokacyjne).

W przypadku konieczności jednoczesnego śledzenia dwóch obiektów, np. celu i naprowadzanej na cel rakiety, stosuje się dwie stacje śledzące (jedną do śledzenia celu, drugą do śledzenia rakiety)

Na rys. 12 przedstawiono radiolokacyjne stacje śledzące, pracujące autonomicznie, a na rys. 7 stację śledzącą wspomagającą pracę systemu trajektograficznego optoelektronicznego w warunkach słabej widoczności optycznej.



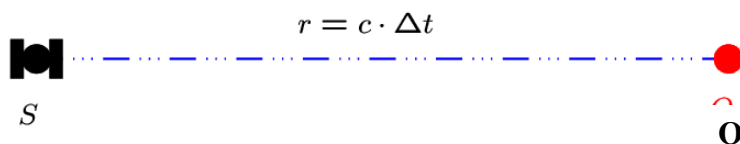
Rys. 12. Przykłady radiolokacyjnych stacji śledzących stosowanych na poligonach badawczych USA

3.1. GPS – owe systemy trajektograficzne

GPS-owe systemy trajektograficzne wykorzystują do określania położenia obiektu latającego metodę Globalnego Systemu Pozycjonowania. Podstawę systemu GPS stanowią dwadzieścia cztery satelity NAVSTAR obiegające Ziemię, zapewniające nieprzerwaną transmisję sygnałów radiowych. Sygnały te po odebraniu przez specjalny odbiornik GPS służą do wyliczenia bieżącej pozycji odbiornika. Zasada działania systemu opiera się na pomiarze odległości pomiędzy satelitami, które poruszają się po ściśle wyznaczonych orbitach, a odbiornikiem.

Odbiorniki użytkowników systemu GPS mierzą odległość od satelitów przez pomiar czasu, jaki potrzebny jest na transmisję sygnału satelitarnego od satelity do anteny odbiornika. Położenie satelity w momencie transmisji jest możliwe do określenia przy pomocy informacji z efemerydy, tj. z tablicy zawierającej pozorne

pozycje satelitów na orbicie wokół Ziemi w określonym czasie i w określonym miejscu na Ziemi. Tak, więc położenie odbiornika w przestrzeni trójwymiarowej jest obliczane poprzez triangulację na podstawie pomiarów odległości do min. trzech satelitów. Dodatkowy pomiar odległości do czwartego satelity umożliwia zlikwidowanie błędu zegara odbiornika. Idea pomiaru odległości pokazana została na rys. 13, a położenia na rys. 14.



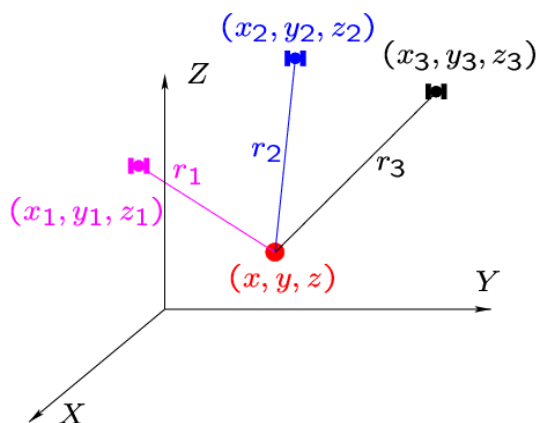
gdzie:

r - odległość pomiędzy satelitą, a odbiornikiem;

c - szybkość fali elektromagnetycznej (3×10^8 km/s);

$\Delta t = t_1 - t_0$, - różnica czasu pomiędzy czasem t_1 odbioru przez odbiornik O depezy sygnału z satelity S , a czasem t_0 wysyłanym w depezy sygnałów z satelity S , który odpowiada momentowi nadania depezy;

Rys. 13. Idea pomiaru odległości r pomiędzy satelitą S , a odbiornikiem GPS O .



$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} = r_1$$

$$\sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} = r_2$$

$$\sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} = r_3$$

Rys. 14. Idea pomiaru położenia obiektu (x, y, z) przy pomocy GPS

Struktura GPS-owego systemu trajektograficznego

W skład GPS-owego systemu trajektograficznego wchodzi:

a) **segmenty niezależne od użytkownika**, do których należą:

- *Segment kosmiczny*, który tworzą 24 satelity umieszczone na wysokich orbitach okołoziemskich (wys. około 20 000 km)
- *Segment naziemny*, które tworzą stacje monitorujące i korygujące pracę satelitów;

b) **segment zależny od użytkownika**, w skład którego wchodzi:

- urządzenia na obiekcie latającym (odbiornik GPS, radiolinia do przekazywania danych do naziemnych urządzeń odbiorczych;
- urządzenia naziemne (odbiorniki GPS, bazowe stacje korekcyjne, radiolinie, urządzenia odbioru i przetwarzania danych oraz wizualizacji).

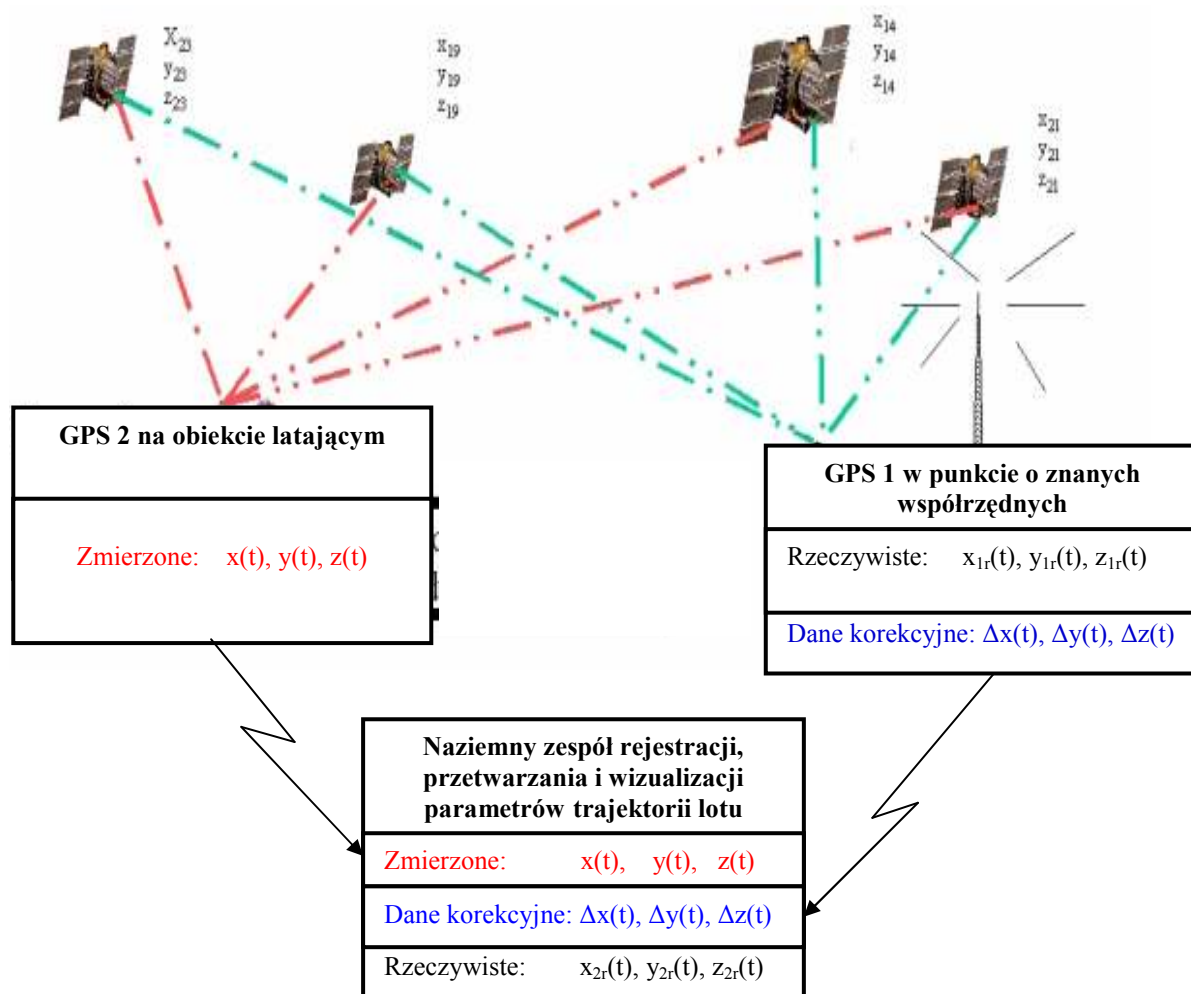
Dokładność standardowych systemów GPS jest niewystarczająca do zastosowania w systemach trajektograficznych, które wymagają większej precyzji. Dlatego w systemach trajektograficznych stosuje się odbiorniki GPS różnicowe. (DGPS - Differential GPS). Technika ta eliminuje błędy satelitarne i wpływ zakłóceń, a także omija ograniczenia dokładności stosowane w sygnałach GPS.

Technika DGSP polega na wykorzystaniu stacji bazowej (odbiornika GPS) ustawionej w punkcie o znanych, dokładnie wyznaczonych współrzędnych. Stacja ta wyznacza na bieżąco poprawki (wektor błędów) dla danych odbieranych z poszczególnych satelitów. Pozwala to na wyeliminowanie większości błędów, gdyż błędy obserwowane na małym obszarze są skorelowane. Otrzymane w ten sposób poprawki – dane korekcyjne są odejmowane od danych odbieranych przez DGPS znajdujący się na mierzonej pozycji. Uzyskana w ten sposób pozycja jest tym dokładniejsza, im mniejsza jest wzajemna odległość bazy korekcyjnej i odbiornika dokonującego pomiarów pozycji.

Dla odległości kilkunastu kilometrów od bazy można dokonywać pomiarów współrzędnych trajektorii z centymetrową dokładnością. Dla stacji bazowej umieszczonej w odległości kilkuset kilometrów od odbiornika DGSP dokładność pomiaru współrzędnych wynosi kilka metrów.

Zasadniczo w systemach trajektograficznych wykorzystuje się systemy DGPS pracujące dwoma metodami:

- w czasie rzeczywistym (Real Time Kinematic). W tej metodzie stacja bazowa - odbiornik korekcyjny, jest ustawiany nad punktem o znanych i dokładnie określonych współrzędnych. Odbiornik ten wyznacza na bieżąco dane korekcyjne dla poszczególnych satelitów. Dane korekcyjne są równoległe (w czasie rzeczywistym) przesyłane radiolinią do odbiornika naziemnej stacji przetwarzania danych. Jednocześnie do stacji przetwarzania danych, łączem radiowym, dostarczany jest plik danych (w tym zmierzone współrzędne) z odbiornika GPS zainstalowanego na obiekcie latającym. Stacja przetwarzania danych oblicza w czasie rzeczywistym skorygowane współrzędne obiektu latającego i parametry trajektorii jego lotu. Schemat funkcjonalny pracy systemu w czasie rzeczywistym przedstawiono na rys. 15.
- w czasie po próbie "*post-processing*". W tej metodzie dane z odbiornika GPS umieszczonego na obiekcie latającym i odbiornika stacji bazowej przesyłane są radiolinią do naziemnej stacji przetwarzania danych, a wyliczanie poprawek korekcyjnych i rzeczywistych współrzędnych trajektorii lotu obiektu odbywa się po próbie.



Rys. 13. Schemat funkcjonalny GPS - owego systemu trajektograficznego.

4. Zalety i wady poszczególnych typów systemów trajektograficznych

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie cech, które określają zalety i wady poszczególnych typów systemów trajektograficznych.

Na podstawie danych zawartych w tabeli 1 można zauważyć, że nie ma systemów trajektograficznych doskonałych.

Najwięcej cech pozytywnych mają systemy optyczne i optoelektroniczne, które w praktyce znalazły największe zastosowanie podczas badań dynamicznych obiektów latających techniki wojskowej i cywilnej. Zdecydowały o tym takie cechy jak:

- możliwość badań każdego obiektu latającego bez ingerencji w jego budowę
- możliwość rejestracji obrazu śledzonego obiektu;
- duża dokładność określania współrzędnych;
- największa rozróżnialność kątowa umożliwiająca ocenę odległości pomiędzy dwoma obiektami z decymetrową dokładnością.

Systemy trajektograficzne optyczne i optoelektroniczne są wręcz niezastąpione podczas określania parametrów lotu rakiet kierowanych przeciwlotniczych i przeciwpancernych, które cechują się dużą manewrowością.

TABELA 1. ZESTAWIENIE PORÓWNAWCE CECH POSZCZEGÓLNYCH SYSTEMÓW

Charakterystyki	System optyczny	System opto-elektroniczny	System radarowy	System GPS
Brak konieczności montażu urządzeń dodatkowych na śledzonym obiekcie (miniaturyzacja obiektu).	TAK	TAK	NIE	NIE
Rejestracja obrazu obiektu w trakcie jego śledzenia	TAK	TAK	NIE	NIE
Możliwość stosowania automatycznego śledzenia z bezpośrednim zastosowaniem głowicy śledzącej stacji	NIE	TAK	TAK	TAK
Stosowanie w dowolnych warunkach pogodowych	NIE	NIE	TAK	TAK
Decymetrowa precyzja określania składowych trajektorii (X, Y, Z)	TAK	TAK	NIE	TAK
Możliwość stosowania przy dużych prędkościach i przyspieszeniach kątowych celu.	TAK	TAK	NIE	NIE
Duża rozdzielczość pomiarowa, kątowna umożliwiająca ocenę odległości pomiędzy dwoma obiektami z decymetrową dokładnością	TAK	TAK	NIE	NIE

Duża rozdzielczość kątowna systemów optycznych i optoelektronicznych (do 0.0002 stopnia) oraz stosunkowo duża częstotliwość pomiarów położenia, umożliwia wierne oddanie charakteru trajektorii lotu badanego obiektu.

Ponadto systemy te na podstawie analizy zarejestrowanego obrazu śledzonego obiektu dają nam możliwość oceny poprawności pracy układu napędowego, głowicy bojowej, itd., a przede wszystkim możliwość pomiaru współrzędnych konkretnego punktu na obiekcie. Na przykład współrzędnych głowicy bojowej naprowadzanej rakiety oraz współrzędnych źródła promieniowania na celu, co daje możliwość obliczenia minimalnej odległości przejścia (tzw. uchybu) głowicy bojowej od źródła (punktu na celu), na który naprowadzała się badana rakietka.

Decymetrowa dokładność pomiarowa systemu trajektograficznego jest bardzo istotna przy pomiarze uchybu dla rakiet samonaprowadzających małego zasięgu, gdzie wymagany minimalny uchyb nie może być większy od 100 cm.

System radiolokacyjny posiada rozdzielczość pomiarową kątowną kilkadziesiąt razy gorszą od systemu optycznego, a system GPS-owy ma stosunkowo małą częstotliwość pomiarową i wymaga montażu odbiorników GPS na obiekcie, co nie zawsze jest możliwe do zastosowania. Cechy te ograniczają zastosowanie tych systemów podczas badań wymagających pomiaru małych wartości uchybów oraz przy badaniach obiektów manewrujących z dużymi przyspieszeniami.

Systemy GPS i radiolokacyjne stosujemy najczęściej przy określaniu położenia pojedynczego obiektu, gdy dokładność określenia parametrów lotu obiektu ma mniejsze znaczenie. Tego typu systemy nadają się w szczególności do określania parametrów lotu obiektów lecących po torach wolno zmieniających się (obiekty balistycznych lub manewrujące z małymi prędkościami kątowymi).

5. Podsumowanie

Zasadniczym celem artykułu było przedstawienie aparatury wykorzystywanej do oceny działania w dynamice obiektów latających techniki wojskowej i cywilnej.

Ze względu na szeroki asortyment różnych obiektów latających opracowywanych i produkowanych dla potrzeb sił zbrojnych, przedstawione powyżej systemy trajektograficzne są najszerzej wykorzystywane dla potrzeb badań takich obiektów jak: przeciwlotnicze i przeciwpancerne zestawy raketowe, samoloty, bomby lotnicze, raketowe oraz artyleryjskie pociski kierowane i balistyczne, obiekty techniki kosmicznej, itd.

Należy zaznaczyć, że Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia posiada w swoim Ośrodku Badań Dynamicznych na poligonie CSWL w Drawsku Pomorskim stacjonarny system trajektograficzny typu optycznego, produkcji firmy szwajcarskiej CONTRAVES, składający się z czterech optycznych stacji śledzących EOTS-F oraz mobilny zestaw trajektograficzny składający się z dwóch zmodernizowanych stacji śledzących EOTS-F z automatycznym śledzeniem (wideotraker z kamerą IR). Zestaw mobilny wyposażony jest w stację centralną do sterowania stacjami śledzącymi oraz do opracowywania wstępnych parametrów trajektorii lotu w czasie rzeczywistym. Mobilność systemu umożliwia jego stosowanie do badań na dowolnym poligonie w kraju.

Artykuł nie wyczerpuje wszystkich zagadnień związanych z problematyką badawczą wykorzystującą systemy trajektograficzne. Oddzielnym zagadnieniem jest proces obróbki matematycznej oraz analizy i oceny rezultatów badań uzyskanych przy pomocy systemu trajektograficznego, który będzie przedmiotem oddzielnego artykułu.

Literatura

1. Ejsmund J., Leśniczak J.; „Metodyka opracowywania wyników z badań dynamicznych”, WITU, 2001 r.
2. Leśniczak J.: „Ocena działania zestawów przeciwlotniczych przy pomocy optycznych i optoelektronicznych systemów trajektograficznych” – Materiały z V Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „CRASS 2003”.
3. Markiewicz J.: „GPS Globalny System Pozycjonowania” – Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2003.
4. Okołów A. „Nawigacja satelitarna i teoria względności” – Materiały z Festiwalu Nauki 2004, Wydział Fizyki UW.
5. Dokumentacja techniczna systemu trajektograficznego EOTS-F – firmy CONTRAVES.
6. Folder reklamowy firmy L-3 Brashear.
7. Folder reklamowy firmy Photo-Sonics.
8. Folder reklamowy firmy Oerlikon-Contraves.