



Wpływ zakłóceń zewnętrznych na wyznaczanie położenia celu

IZABELA KRZYSZTOFIK, ADAM ROZENUA

Politechnika Świętokrzyska, 25-314 Kielce, Al. 1000-lecia P.P. 7

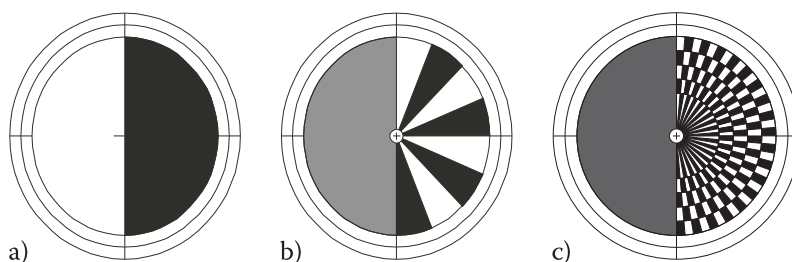
Streszczenie. W pracy przedstawiony został matematyczny formalizm pewnej metody wyznaczania współrzędnych położenia celu w polu widzenia głowicy samonaprowadzających pocisków rakietowych w zastosowaniu do wybranych wzorów rastrów. Stanowi on podstawę do analizy trajektorii naprowadzania pocisku rozszerzonej o wpływ zakłóceń.

Słowa kluczowe: mechatronika, głowica samonaprowadzająca, raster, zakłócenia

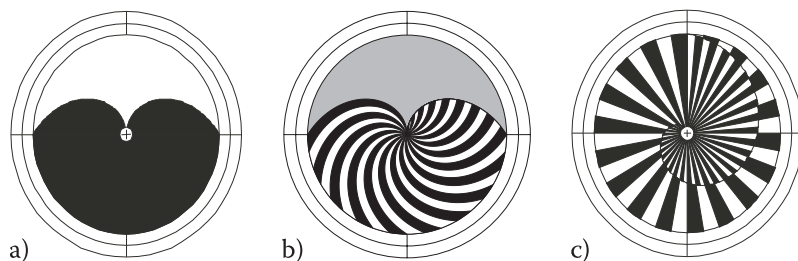
Symbole UKD: 623.465.7

1. Wprowadzenie

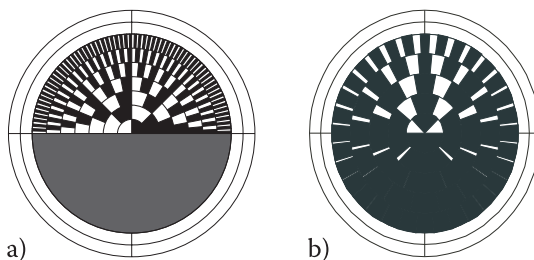
Dość powszechnie stosowanym sposobem określania położenia celu względem rakiety jest modulacja promieniowania celu za pomocą wirujących rastrów koordynatorów optycznych [1]. Znanych jest wiele wzorów rastrów, których przykłady pokazane są na rysunkach 1-3.



Rys. 1. Raster połówkowy i wywodzące się od niego rastry typu „wschodzące słońce”



Rys. 2. Rastry wykorzystujące spiralę Archimedesesa



Rys. 3. Rastry z dyskretnym promieniowym podziałem rysunku

Każdy wzór rastra w inny sposób moduluje promieniowanie celu i inne parametry sygnału otrzymywanego z detektora zawierają informację o położeniu celu w polu widzenia głowicy. I tak np. sygnały pochodzące z rastra rysunku 1b oraz rysunku 3a (dla celu położonego w trzecim od środka pierścieniu rastra) będą identyczne, ale inne parametry tych sygnałów będą wykorzystane do określenia położenia celu.

Dokładne określenie położenia celu w polu widzenia koordynatora, zazwyczaj we współrzędnych biegunowych, jest możliwe, jeśli cel jest punktowy, a tło nie moduluje sygnału z detektora. W warunkach rzeczywistych, gdy cel ma nieregularny kształt i nieregularne natężenie promieniowania lub gdy tło jest niejednorodne (naturalne, ale przede wszystkim stworzone sztucznie przez celowe zakłócanie), pojawia się dodatkowa modulacja sygnału. Występują wówczas trudności z dostatecznie dokładnym określeniem położenia celu.

Do wyznaczenia położenia celu wykorzystywane są różne parametry sygnału z detektora właściwe dla konkretnego wzoru rastra. Są to najczęściej:

- przesunięcie fazowe sygnału z detektora w stosunku do pewnego sygnału odniesienia,
- czas trwania pewnych charakterystycznych fragmentów sygnału,
- częstotliwość na pewnych charakterystycznych odcinkach sygnału.

2. Wpływ zakłóceń tłem na wartość współrzędnej kątowej położenia celu wyznaczonej tzw. metodą obwiedni

Niezależnie od późniejszego sposobu przetwarzania sygnału, dwa pierwsze człony układu naprowadzania pocisku stanowią na ogół układ detekcji i wstępnego wzmacniacza oraz wzmacniacz szerokopasmowy.

Zadaniem układu detekcji i wstępnego wzmacniacza jest przekształcenie promieniowania docierającego do detektora w sygnał elektryczny (najczęściej napięciowy) i dopasowanie go pod względem parametrów elektrycznych do dalszych zespołów układu naprowadzania.

Zadaniem wzmacniacza szerokopasmowego jest usunięcie z sygnału składowej stałej oraz składowych wolnozmiennych (w porównaniu z częstością obrotu rastra) i składowych szybkozmiennych (w porównaniu z największymi częstościami sygnałów wynikającymi z jego wzoru). Ponadto wzmacniacz szerokopasmowy ma z reguły układ automatycznej regulacji wzmocnienia, który ustala amplitudę sygnału wyjściowego na wymaganym poziomie niezależnie od tego czy na jego wejściu pojawią się sygnał słaby czy silny. Następne człony układu naprowadzania zależą od tego czy stosuje się przetwarzanie sygnału analogowe czy cyfrowe i jakie parametry sygnału są wyznaczone.

W dalszej części przedstawiono pewną, często stosowaną metodę wyznaczania współrzędnej kątowej położenia celu w układzie biegunowym na drodze analogowej. Metoda ta polega na podaniu sygnału ze wzmacniacza szerokopasmowego na wzmacniacz rezonansowy, nastrojony na częstość obrotów rastra. Na wyjściu otrzymujemy sygnał harmoniczny o tej częstotliwości. Fazę tego sygnału porównuje się z fazą sygnału odniesienia, a ich różnica jest miarą poszukiwanego kąta określającego położenie celu w polu widzenia głowicy.

Sygnał okresowy $x(t)$ o okresie T i częstości ω można przedstawić w postaci szeregu Fouriera (postać sinusowa) w sposób następujący [3]:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (A_i \sin(i \cdot \omega \cdot t - \beta_i)), \quad (1)$$

gdzie:

$$\frac{a_0}{2} = \bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad \text{wartość średnia} \quad (2)$$

$$a_i = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(i \cdot \omega \cdot t) dt, \quad b_i = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(i \cdot \omega \cdot t) dt, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

$$A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad (4)$$

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \frac{a_1}{b_1}. \quad (5)$$

Dla funkcji okresowej zdyskretyzowanej w n punktach wzory (2), (3) przyjmują postać:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x_k \quad (2a)$$

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x_k \cos(i \cdot k \cdot \omega \cdot \Delta t), \quad b_i = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x_k \sin(i \cdot k \cdot \omega \cdot \Delta t). \quad (3a)$$

Wzory (3a) dla pierwszej harmonicznej ($i = 1$) przyjmują postać:

$$a_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x_k \cos(k \frac{2\pi}{n}), \quad b_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x_k \sin(k \frac{2\pi}{n}) \quad (6)$$

po uwzględnieniu, że: $\omega \Delta t = 2\pi / n$.

Po wyznaczeniu współczynników a_1 i b_1 można wyznaczyć kąt fazowy pierwszej harmonicznej ze wzoru (5).

Na sygnał z detektora $x_d(t)$ składają się: sygnał od celu $x_c(t)$, sygnał od tła $x_t(t)$ i zakłócenia $x_z(t)$. Przy liniowej charakterystyce detektora mamy:

$$x_d(t) = x_c(t) + x_t(t) + x_z(t). \quad (7)$$

Sygnały od celu i od tła są sygnałami okresowymi o okresie T , wynikającym z prędkości kątowej wirowania rastra ω_r . Jeśli przyjmiemy, że zakłócenia są pomijalnie małe w porównaniu z sygnałami od celu i tła, to można napisać, że:

$$x_d(t) = x_c(t \pm T) + x_t(t \pm T), \quad \text{gdzie} \quad T = 2\pi / \omega_r.$$

Korzystając z postaci sinusowej szeregu Fouriera mamy:

$$x_{1c} = A_{1c} \sin(\omega t + \beta_{1c}), \quad x_{1t} = A_{1t} \sin(\omega t + \beta_{1t}), \quad x_{1d} = A_{1d} \sin(\omega t + \beta_{1d}).$$

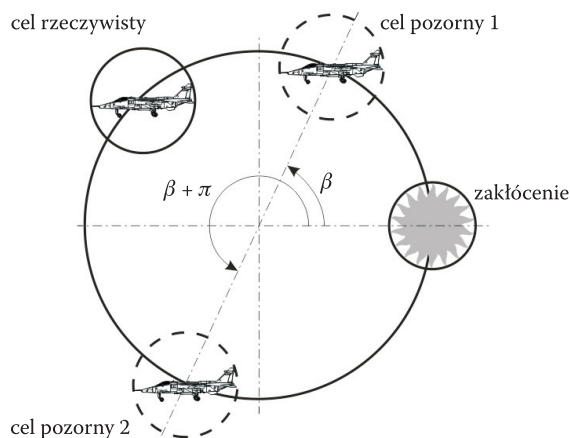
Można wykazać, że:

$$A_{1d} = \sqrt{A_{1c}^2 + A_{1t}^2 + 2A_{1c}A_{1t} \cos(\beta_{1c} - \beta_{1t})} \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{1d} = \frac{A_{1c} \sin \beta_{1c} + A_{1t} \sin \beta_{1t}}{A_{1c} \cos \beta_{1c} + A_{1t} \cos \beta_{1t}}. \quad (9)$$

Wzór (9) określa fazę pierwszej harmonicznej sygnału z detektora w zależności od amplitud i faz pierwszych harmonicznych sygnałów od celu i tła. Wynika z niego, że:

- przy $A_{1c} \cos \beta_{1c} + A_{1t} \cos \beta_{1t} = 0$ rozwiązanie na β_{1d} jest nieoznaczone, co związane jest z brakiem ciągłości funkcji tangens dla $\pm\pi$,
- ponieważ funkcja tangens ma okres π , a dziedziną kąta β_{1d} jest $\beta_{1d} \in \langle 0, 2\pi \rangle$, więc będą w tym zakresie dwa rozwiązania β_{1d} — sygnał wskaże dwa cele pozorne.



Rys. 4. Dwa cele pozorne

Jeśli przyjmijemy za punkt odniesienia rzeczywiste położenie celu $\beta_{1c} = 0$, to kąt β_{1d} będzie określał błąd, z jakim głowica namierza współrzędną kątową celu w obecności tła czyli położenie celu pozornego. W tabeli 1 zamieszczone są wyniki obliczeń β_{1d} dla kilku wybranych relacji A_{1t}/A_{1c} oraz wybranych wartości kąta fazowego tła β_{1t} .

TABELA 1

Wartości kąta fazowego β_{1d} dla celu pozornego 1

β_{1d} [deg]	0	30	60	90	120	150	180
A_{1t}/A_{1c}	0	30	60	90	120	150	180
0,1	0	2,6	4,7	5,7	5,2	3,1	0
0,5	0	9,9	19,1	26,6	30,0	23,8	0
1	0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	x
2	0	20,1	40,9	63,4	90,0	126,2	0

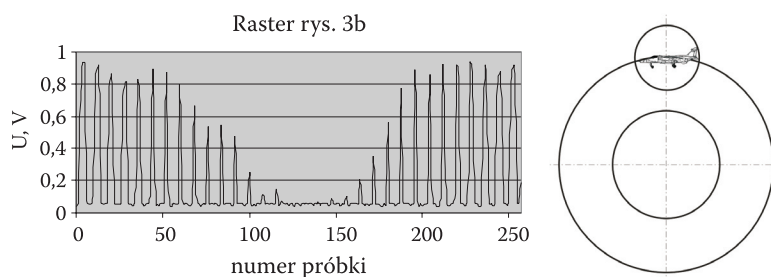
Zawarte w tabeli wyniki dają pogląd na wielkość błędu w naprowadzaniu głowicy, jaki może spowodować zmodulowany sygnał tła.

W uzupełnieniu przedstawionych wyżej rozważań teoretycznych wykonane zostały pomiary na stanowisku imitującym działanie koordynatora [2]. Zarejestrowano sygnały dla dwóch wzorów rastra z rysunku 2b i 3b. Podczas wszystkich pomiarów położenie celu i położenie źródeł zakłócających było stałe.

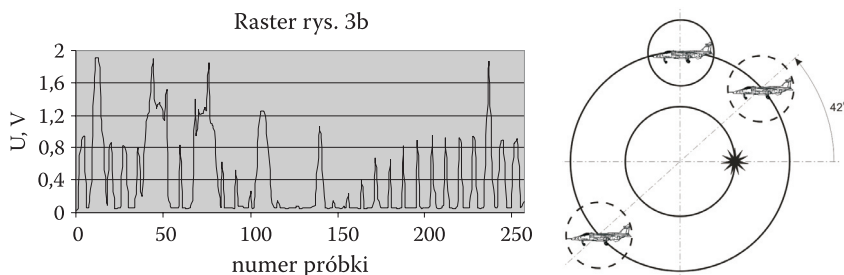
Dla obydwu rastrów zarejestrowano następujące sygnały z detektora (bez usuwania składowej stałej i filtrowania):

- dla samego celu,
- dla celu w obecności zakłócenia punktowego,
- dla celu w obecności zakłócenia kołowego.

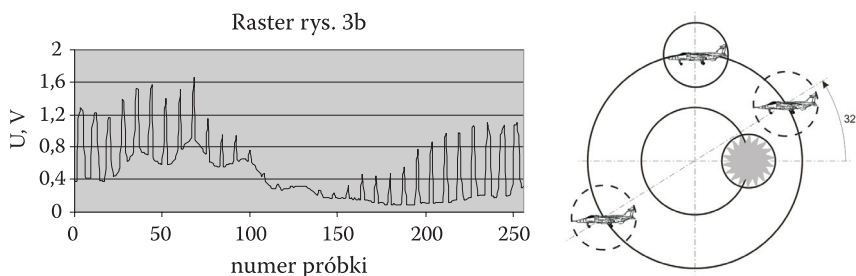
Fragmenty zarejestrowanych sygnałów oraz wyniki obliczeń kątów fazowych przedstawione są na rysunkach poniżej.



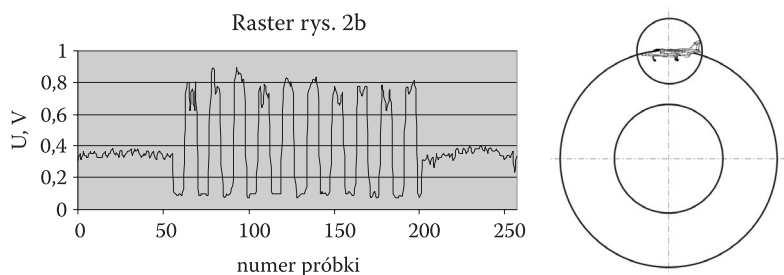
Rys. 5. Sygnał samego celu



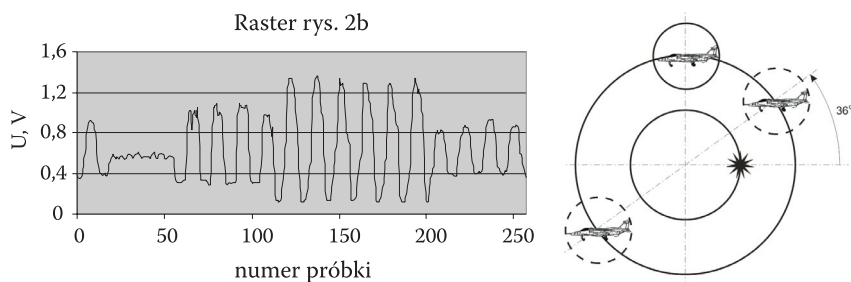
Rys. 6. Sygnał celu w obecności zakłócenia punktowego



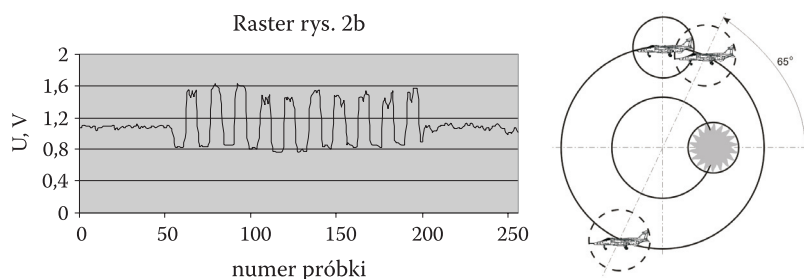
Rys. 7. Sygnał celu w obecności zakłócenia w postaci plamki kołowej



Rys. 8. Sygnał samego celu



Rys. 9. Sygnał celu w obecności zakłócenia punktowego



Rys. 10. Sygnał od celu w obecności zakłócenia w postaci plamki kołowej

3. Wnioski

Powstawanie celów pozornych w wyniku określania położenia kąтового celu metodą pierwszej harmonicznej nie zawsze powoduje utratę możliwości skutecznego naprowadzania rakiety na cel. Zawsze jednak zmienia pożądaną trajektorię pocisku, wynikającą z przyjętej metody naprowadzania (tj. trajektorię, jaką poruszałby się pocisk przy braku zakłóceń).

Obraz jednego z celów pozornych może być skutecznie usunięty w układach elektronicznych toru naprowadzania pocisku. Jeśli natężenie promieniowania zakłócenia stopniowo słabnie, wówczas cel pozorny przybliży się do celu rzeczy-

wistego. W momencie nagłego zniknięcia zakłócającego źródła promieniowania z pola widzenia, pocisk musi wykonać gwałtowny manewr na cel rzeczywisty. Może to być przyczyną powstawania dużych przeciążeń, a w skrajnym przypadku może wystąpić brak możliwości skutecznej realizacji manewru.

Gdy promieniowanie zakłócające utrzymuje się, ale raster koordynatora wykazuje dostatecznie małą wrażliwość na zakłócenia, wówczas położenie celu pozornego, na który naprowadzany jest pocisk, niewiele różni się od położenia celu rzeczywistego i możliwe jest skuteczne zadziałanie zapalnika zbliżeniowego.

Artykuł wpłynął do redakcji 19.05.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2008 r.

LITERATURA

- [1] Z. KORUBA, J. OSIECKI, *Budowa, dynamika i nawigacja pocisków raketowych bliskiego zasięgu*, Skrypt PŚk, 348, Kielce, 1999.
- [2] I. KRZYSZTOFIK, A. ROZENU, *Układ pomiarowy do wyznaczania położenia punktowego źródła światła*, *Pomiary Automatyka Robotyka*, 2, Warszawa, 2008, 773-782.
- [3] J. OSIECKI, *Podstawy analizy drgań mechanicznych*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 1979.

I. KRZYSZTOFIK, A. ROZENU

Influence of external interference on target position determination

Abstract. The work presents a mathematical formalism of a certain method for determining target position coordinates in the field of vision of a self-guided missile head using various raster patterns. It can be applied to analyze missile trajectories affected by interference.

Keywords: mechatronics, homing warhead, raster, interference

Universal Decimal Classification: 623.465.7