



## Obliczanie bieżących współrzędnych celu powietrznego w oparciu o współrzędne mierzone przez odległe urządzenia śledzące

WŁODZIMIERZ BOROWCZYK, WOJCIECH KACZMAREK

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Systemów Mechatronicznych,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zagadnienia związane z Globalnym Systemem Pozycjonowania GPS oraz z różnorodnością układów odniesienia. Zwrócono uwagę na konieczność transformacji układów współrzędnych w przypadku korzystania z różnego typu map. Omówiono problem wykorzystania systemu nawigacji satelitarnej do określania położenia przeciwnocnych zestawów artyleryjsko-rakietowych oraz wyjaśniono zasady obliczania bieżących współrzędnych celu powietrznego w oparciu o współrzędne mierzone przez odległe urządzenia śledzące. W drugiej części artykułu przeanalizowano dokładność przekształcania bieżących współrzędnych celu.

**Słowa kluczowe:** system satelitarny GPS, przeciwnocne zestawy artyleryjsko-rakietowe, bieżące współrzędne celu

**Symbole UKD:** 527

### 1. Wstęp

W przeciwnocnych zestawach artyleryjsko-rakietowych (PZAR) małego kalibru wyposażonych w indywidualne celowniki z przelicznikami, podstawowym problemem jest uzyskiwanie bieżących współrzędnych celu. O ile uzyskanie bieżących współrzędnych kątowych nie sprawia problemu, o tyle uzyskanie odległości z odpowiednią częstotliwością powtarzania stanowi już poważny problem. W celownikach tego typu odległość mierzy się przy pomocy dalmierzy laserowych, które mają określoną częstotliwość powtarzania, niewystarczającą do uzyskania rozwiązania zagadnienia trafienia z wymaganą dokładnością.

Powyższy problem mógłby zostać rozwiązany przy wykorzystaniu pomiaru bieżących współrzędnych celu (głównie odległości) przez inne środki (radary śledzące) i ich przesyłaniu do środków ogniowych. Bieżące współrzędne mierzone przez oddalone środki śledzące cel powietrzny muszą być przeliczane dla konkretnego środka ogniowego. Aby współrzędne odebrane z innego urządzenia śledzącego cel mogły być wykorzystywane, zarówno środki śledzące cel, jak i środki ogniowe muszą być dokładnie dowiązane. Dowiązanie takie wygodnie jest wykonać za pomocą odbiorników GPS.

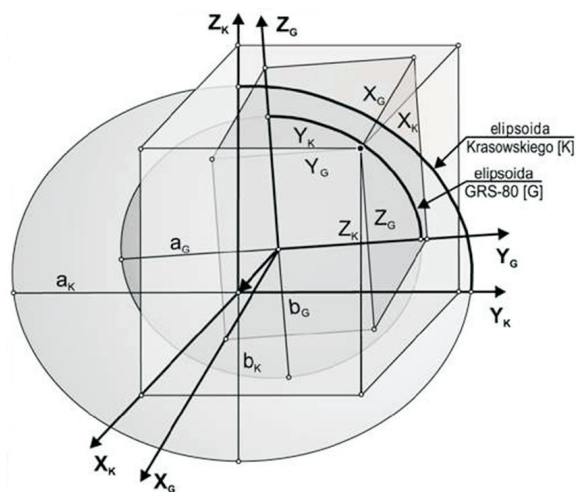
Następnym problemem, jaki występuje w artylerii przeciwlotniczej jest zapewnienie krótkiego czasu reakcji zestawu przeciwlotniczego. Do wyznaczania nastaw działowych konieczne jest mierzenie bieżących współrzędnych celu (proces odbywa się przez określony czas zwany czasem obserwacji). Wraz ze wzrostem długości czasu obserwacji rośnie dokładność wyliczania nastaw działowych. W przypadku wykorzystywania współrzędnych celu uzyskiwanych z oddalonego źródła, problem powyższy przestaje istnieć — na stanowisko ogniowe armaty przychodzą współrzędne celu zanim wejdzie on w strefę ogniową. W momencie wejścia celu w strefę ognia można zatem natychmiast prowadzić skuteczny ostrzał celu.

## 2. Global Positioning System — nowa jakość uzyskiwania współrzędnych na całej powierzchni kuli ziemskiej

Na świecie istnieje wiele lokalnych układów współrzędnych, które wykorzystywane są do tworzenia różnych typów odwzorowań kartograficznych. W układach tych do określania pozycji od niepamiętnych czasów stosowane są współrzędne kątowe (szerokość geograficzna  $B$  i długość geograficzna  $L$ ) oraz współrzędna liniowa  $h$  określająca wysokość nad poziomem elipsoidy obrotowej. Również w Polsce na wielu mapach, w tym również topograficznych mapach wojskowych, stosuje się podobne odniesienie. Określenie współrzędnych topograficznych wybranych punktów terenowych sprowadza się na nich do wyznaczenia szerokości i długości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza.

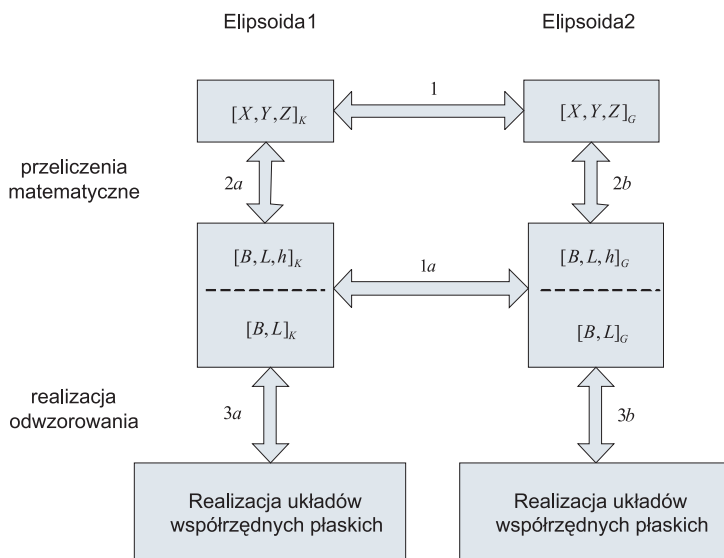
Stosowanie różnych typów układów współrzędnych (różne elipsoidy) powoduje powstawanie rozbieżności współrzędnych punktów topogeodezyjnych przy odczytywaniu ich położenia w różnych układach odniesienia (rys. 2.1). Dlatego w przypadku korzystania z różnych typów układów współrzędnych konieczne jest stosowanie przeliczenia współrzędnych geograficznych. Przeliczenie to powinno być zrealizowane poprzez pośrednie przejście (transformację) pomiędzy układami współrzędnych geograficznych geodezyjnych  $B$ ,  $L$ ,  $h$  lub współrzędnych kartezjańskich centrycznych  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  obu elipsoid.

Pomiędzy układami obu elipsoid zachodzą związki siedmioparametrowej transformacji przestrzennej. Parametry tej transformacji zostały wyznaczone



Rys. 2.1. Widok przemieszczenia różnych typów układów współrzędnych (Krasowskiego oraz GRS-80)

w GUGiK na podstawie punktów sieci POLREF. Na rysunku 2.2 przedstawiono schemat przejść transformacyjnych pomiędzy układami dwóch różnych elipsoid. Jak widać, przejścia pomiędzy poszczególnymi układami można realizować w obu kierunkach (transformacje: „na wprost” i „odwrotna”).



Rys. 2.2. Schemat przejść pomiędzy układami różnych typów elipsoid

Na przykład, chcąc przeliczyć współrzędne geograficzne układu odniesienia zbudowanego w oparciu o elipsoidę Krassowskiego na współrzędne geograficzne w układzie z elipsoidą WGS-84, należy przejść ścieżką obejmującą kolejne operacje: 2a, 1, 2b, przy czym w celu poprawnego wykonania operacji 2a należy do współrzędnych geodezyjnych  $B, L$  (elipsoidy Krasowskiego lub innej) dołączyć przynajmniej przybliżoną informację o wysokości elipsoidalnej  $h$ .

Duża liczba różnych typów lokalnych układów współrzędnych jest znacznym utrudnieniem w wyznaczaniu współrzędnych w różnych częściach świata. Z tego powodu oczywista stała się chęć utworzenia ogólnoswiatowego układu, który nie posiadałby tych wad. Możliwość taka powstała w momencie wykorzystania do tego celu satelitów. W wyniku przeprowadzenia pomiarów gravimetrycznych Ziemi opracowano Globalny System Nawigacyjny (GPS), którego podstawową cechą jest jednolity układ współrzędnych WGS84 (*World Geodetic System*) pokrywający całą kulę ziemską [6-11].

Pozostała jedynie konieczność dokonywania przeliczeń pomiędzy układami współrzędnych: kartezjańskim i elipsoidalnym. Zależności pomiędzy tymi układami można określić za pomocą prostych formuł pod warunkiem, że geometryczny środek elipsoidy pokrywa się ze środkiem masy Ziemi (2.1).

$$\begin{aligned} X &= (R_N + h) \cos B \cos L = r_p \cos L \\ Y &= (R_N + h) \cos B \sin L = r_p \sin L \\ Z &= [R_N(1 - e^2) + h] \sin B, \end{aligned} \quad (2.1)$$

gdzie (rys. 2.3):

$$a = 6378137 \text{ m} \text{ — wielka półoś elipsoidy WGS-84;} \quad (2.2)$$

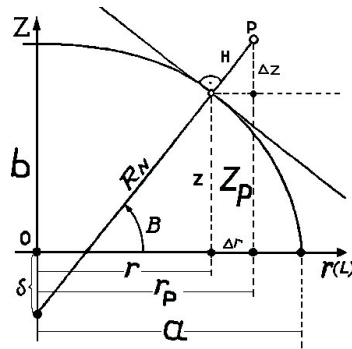
$$b = 6356752,3141 \text{ m} \text{ — mała półoś elipsoidy WGS-84;} \quad (2.3)$$

$$\frac{b}{a} = 1 - f \rightarrow f = \frac{1}{298,26} \approx 0,003353 \text{ — spłaszczenie elipsoidy;} \quad (2.4)$$

$$e^2 = 2f - f^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2} = 0,006694 \text{ — kwadrat pierwszego mimośrodu;} \quad (2.5)$$

$$R_N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}} \text{ — promień krzywizny w przekroju południkowym.} \quad (2.6)$$

Elementy przekroju południkowego elipsoidy przedstawiono na rysunku 2.3.



Rys. 2.3. Elementy przekroju południkowego elipsoidy

Dodatkowo w obliczeniach można wykorzystać następujące wielkości:

$$r_p = (X^2 + Y^2)^{1/2} = (R_N + h) \cos B = r + \Delta r \quad (2.7)$$

$$[X = r_p \cos L, \quad Y = r_p \sin L],$$

gdzie:

$$r = R_N \cos B \quad \text{— promień równoleżnika elipsoidy dla danej szerokości } B \quad (2.8)$$

$$\Delta r = h \cos B. \quad (2.9)$$

Podobnie możemy zapisać:

$$Z = z + \Delta z \quad (2.10)$$

$$z = R_N \sin B - \delta \quad (2.11)$$

$$R_M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}} \quad \text{— promień krzywizny w przekroju równoleżnikowym} \quad (2.12)$$

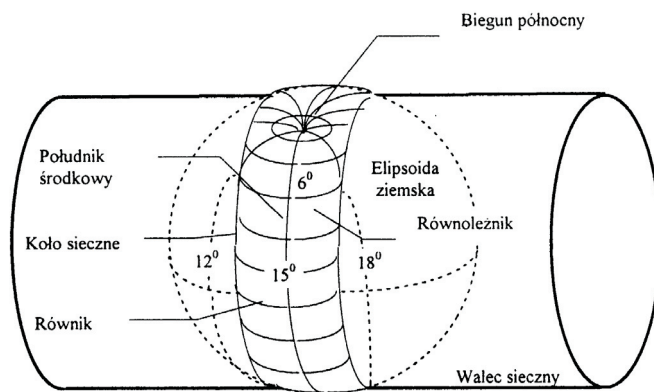
$$\Delta z = h \cos B. \quad (2.13)$$

Długość odcinka osi obrotu elipsoidy od jej środka do punktu przecięcia z normalną można opisać wzorem:

$$\delta = R_N e^2 \sin B. \quad (2.14)$$

## 2.1. Wykorzystanie systemu nawigacji satelitarnej do określania położenia przeciwlotniczych zestawów artyleryjsko-rakietowych

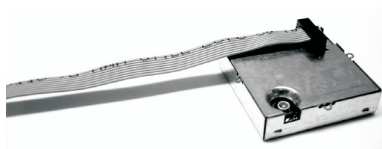
Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, do wyznaczania współrzędnych punktów topogeodezyjnych od niepamiętnych czasów stosowano współrzędne elipsoidalne (długość i szerokość geograficzną). Z punktu widzenia użytkownika nie są one jednak współrzędnymi najwygodniejszymi w interpretacji, dlatego stosuje się siatki współrzędnych prostokątnych. Siatki (na płaszczyźnie  $x, y$ ) powstają w oparciu o różne typy odwzorowań kartograficznych, przy czym odwzorowaniem stosowanym w technice satelitarnej jest uniwersalne poprzeczne odwzorowanie Mercatora (UTM — *Universal Transversal Mercator*), które jest odwzorowaniem wiernokątnym, poprzecznym, walcowym (rys. 2.4).



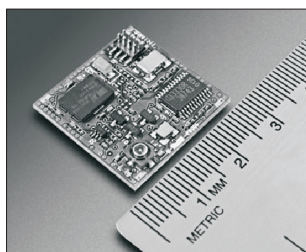
Rys. 2.4. Widok ogólny odwzorowania poprzecznego Mercatora

Możliwość określania współrzędnych stanowisk ogniowych przeciwlotniczych zestawów artyleryjsko-rakietowych za pomocą systemu GPS jest uwarunkowana koniecznością wyposażenia tych zestawów w odbiorniki sygnału GPS. Oczywiście, aby w pełni wykorzystać możliwości systemu kierowania ogniem oraz zautomatyzować cały proces dowiązania, konieczne jest zintegrowanie odbiorników GPS z poszczególnymi zestawami. Zastosowanie odbiorników wbudowanych (rys. 2.5) niesie jednak ze sobą wiele trudności, m.in. konieczność zaimplementowania oprogramowania umożliwiającego odbiór i wykorzystanie sygnału w określonym systemie operacyjnym. Ze względu na to, że operatorzy zestawów korzystają ze współrzędnych kartezyjskich konieczne jest przeliczanie współrzędnych elipsoidalnych (takie współrzędne są dostępne z odbiorników GPS poprzez port RS232, a transmisja może odbywać się przy wykorzystaniu protokołów tekstowych, np. NMEA, czy binarnych, np. TSIP) na współrzędne prostokątne. Przeliczenie takie można zrealizować w oparciu o przedstawione w następnym rozdziale zależności.

Istnieje wiele firm produkujących małe, charakteryzujące się wysokimi parametrami technicznymi odbiorniki. Przykładem może być odbiornik GPS Lassen IQ firmy Trimble (rys. 2.5), który dzięki architekturze FirstGPS składającej się z dwóch zintegrowanych obwodów i oprogramowania sprzętowego FirstGPS łączy w sobie „micro-gabaryty” (rys. 2.6) i niski pobór prądu. Na rysunku 2.7 przedstawiono widok anteny, w którą zdecydowano się wyposażyć odbiornik [6].



Rys. 2.5. Widok ogólny odbiornika Lassen SQ firmy Trimble



Rys. 2.6. Skala odbiornika Lassen SQ firmy Trimble



Rys. 2.7. Antena odbiornika

### 3. Przeliczenie współrzędnych dla punktu A mierzonych przez urządzenie śledzące cel, znajdujące się w punkcie B

W celu wyznaczenia bieżących współrzędnych dla punktu A, w którym znajduje się armata plot. należy wyznaczyć współrzędne miejsca stania urządzenia śledzącego cel (np. radar) i stanowiska ogniowego armaty plot. z wykorzystaniem

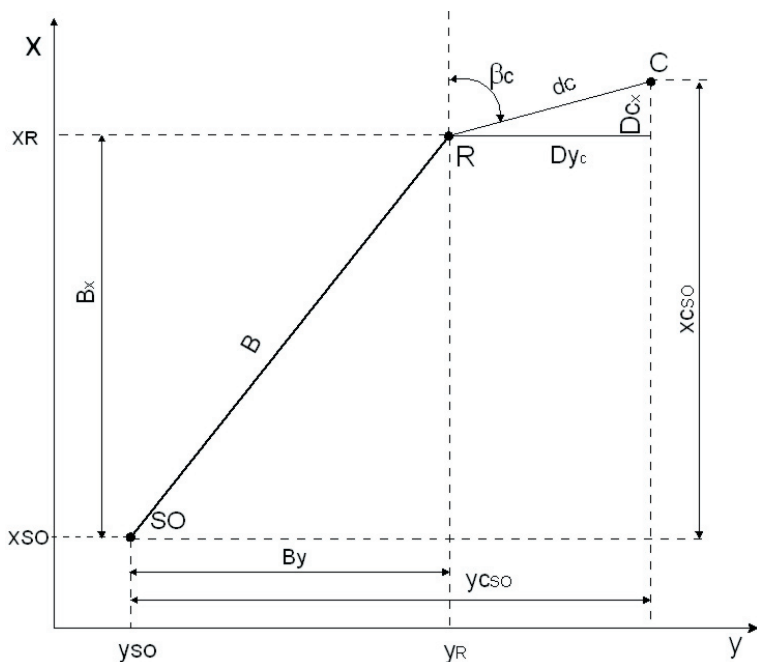
GPS. Po wyznaczeniu tych współrzędnych można będzie przeliczać współrzędne bieżące uzyskiwane w punkcie B, dla punktu A.

### 3.1. Metoda przeliczania współrzędnych

Na rysunku 3.1 przedstawiono wzajemne położenie stanowiska ogniowego SO i radaru śledzącego, mierzącego bieżące współrzędne celu. Rozmieszczenie SO i radaru R w terenie określa się za pomocą GPS. Wykorzystując współrzędne prostokątne rozmieszczenia SO i R, wylicza się odległość pomiędzy SO i R w płaszczyźnie poziomej  $B_x$ ,  $B_y$ , różnicę wysokości  $B_z$ , zgodnie z zależnościami (3.1).

$$\begin{aligned} B_x &= x_R - x_{SO} \\ B_y &= y_R - y_{SO} \\ B_z &= z_R - z_{SO}, \end{aligned} \quad (3.1)$$

gdzie:  $x_R, y_R, z_R, x_{SO}, y_{SO}, z_{SO}$  — współrzędne prostokątne stanowiska ogniowego SO i radaru R, uzyskane przy pomocy GPS.



Rys. 3.1. Schemat rozmieszczenia stanowiska ogniowego SO i radaru R, mierzącego współrzędne celu



Urządzenie śledzące cel powietrzny (radar) mierzy współrzędne w układzie sferycznym ( $D$ ,  $\varepsilon$ ,  $\beta$ ). Do przekształcenia współrzędnych celu dla SO potrzebne są bieżące współrzędne celu w układzie prostokątnym. Współrzędne prostokątne wylicza się zgodnie z zależnościami:

$$\begin{aligned}d_c &= D_c \cdot \cos(\varepsilon_c) \\x_c &= d_c \cdot \cos(\beta_c) \\y_c &= d_c \cdot \sin(\beta_c).\end{aligned}\tag{3.2}$$

Do wyliczenia nastaw działowych potrzebne są współrzędne celu względem stanowiska ogniowego armaty (SO). Współrzędne te wylicza się następująco:

$$\begin{aligned}x_{c_{SO}} &= B_x + x_c \\y_{c_{SO}} &= B_y + y_c \\z_{c_{SO}} &= B_z + z_c.\end{aligned}\tag{3.3}$$

Odległość pochyła armata-cel  $D_{c_{SO}}$  wylicza się z zależności

$$D_{c_{SO}} = \sqrt{x_{c_{SO}}^2 + y_{c_{SO}}^2 + z_{c_{SO}}^2},\tag{3.4}$$

natomiast odległość poziomą z zależności

$$d_{c_{SO}} = \sqrt{x_{c_{SO}}^2 + y_{c_{SO}}^2}.\tag{3.5}$$

Kąt położenia celu dla stanowiska ogniowego wylicza się z zależności

$$\varepsilon_{c_{SO}} = \arccos \frac{d_{c_{SO}}}{D_{c_{SO}}}.\tag{3.6}$$

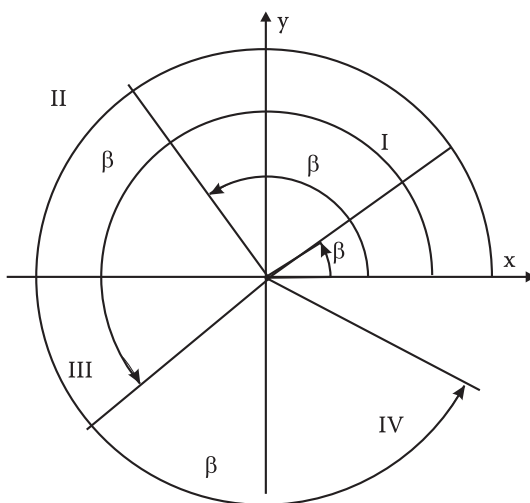
Azymut celu dla SO wylicza się w zależności od tego, w której ćwiartce znajduje się cel (rys. 3.2).

$$\text{Dla I ćwiartki } x_{c_{SO}} > 0 \text{ i } y_{c_{SO}} > 0 \quad \beta_{c_{SO}} = \arccos \left| \frac{x_{c_{SO}}}{d_{c_{SO}}} \right|;$$

$$\text{Dla II ćwiartki } x_{c_{SO}} < 0 \text{ i } y_{c_{SO}} > 0 \quad \beta_{c_{SO}} = \frac{\pi}{2} + \arccos \left| \frac{y_{c_{SO}}}{d_{c_{SO}}} \right|;$$

$$\text{Dla III ćwiartki } x_{c_{SO}} < 0 \text{ i } y_{c_{SO}} < 0 \quad \beta_{c_{SO}} = \pi + \arccos \left| \frac{y_{c_{SO}}}{d_{c_{SO}}} \right|;$$

$$\text{Dla IV ćwiartki } x_{c_{SO}} > 0 \text{ i } y_{c_{SO}} < 0 \quad \beta_{c_{SO}} = \frac{3\pi}{2} + \arccos \left| \frac{y_{c_{SO}}}{d_{c_{SO}}} \right|.$$



Rys. 3.2. Wzajemne położenie armaty i celu

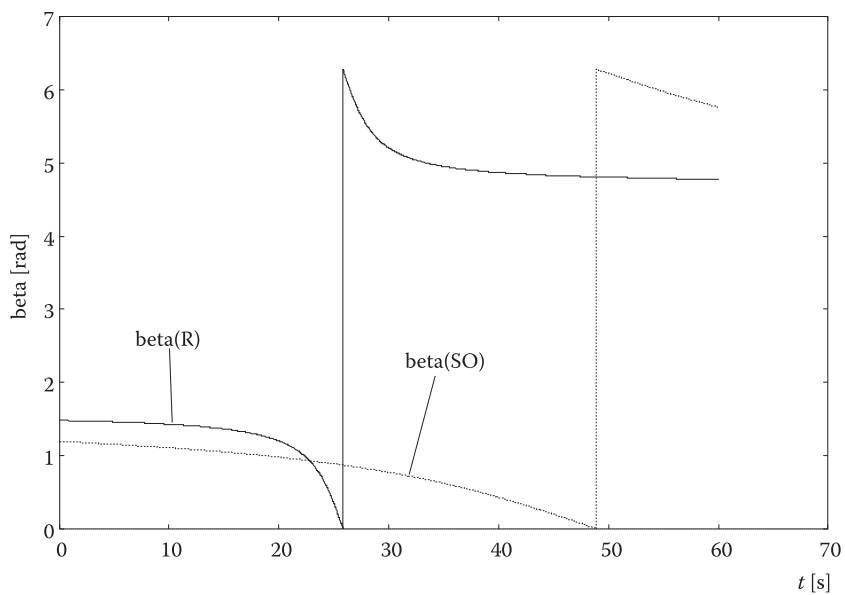
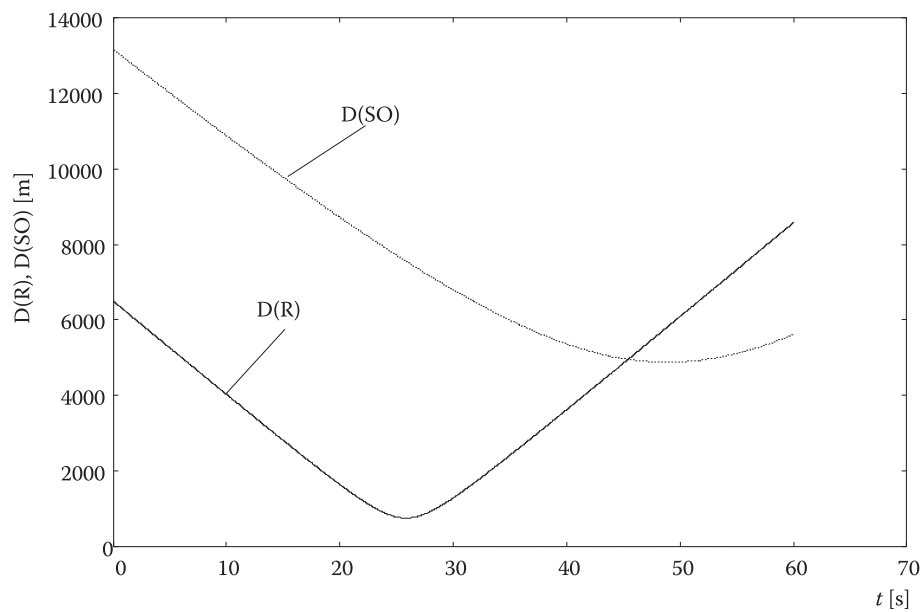
Jeżeli zagadnienie trafienia będzie rozwiązywane w układzie współrzędnych prostokątnych, to wyliczanie współrzędnych sferycznych dla stanowiska ogniowego jest zbędne. Sferyczne współrzędne celu można na etapie początkowym wykorzystać do wstępnego naprowadzenia armaty w kierunku celu.

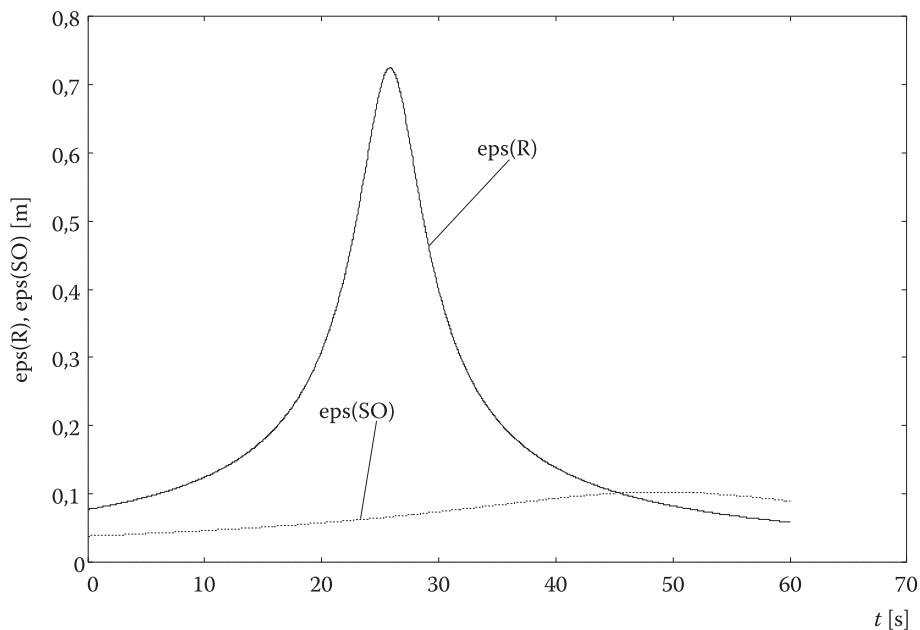
### 3.2. Symulacja bieżących współrzędnych celu

Na rysunkach poniżej przedstawiono współrzędne celu względem radaru i stanowiska ogniowego SO dla ich położenia:

$$xR = 2570, yR = 2578, zR = 120,$$

$$xSO = 1280, ySO = 808, zSO = 120.$$

Rys. 3.3. Azymut celu mierzony  $\beta(R)$  i przeliczony dla stanowiska ogniowego armatyRys. 3.4. Odległość do celu zmierzona  $D(R)$  i przeliczona  $D(SO)$  dla stanowiska ogniowego armaty



Rys. 3.5. Kąt położenia celu zmierzony  $eps(R)$  i przeliczony dla stanowiska ogniowego armaty  $eps(SO)$

### 3.3. Dokładność przekształcania bieżących współrzędnych celu

Dokładność przekształcania współrzędnych będzie zależała od:

- dokładności wyznaczenia prostokątnych współrzędnych urządzenia pomiarowego (radaru),
- dokładności wyznaczenia prostokątnych współrzędnych stanowiska ogniowego (armaty),
- dokładności obliczeń.

Błędy obliczeń uwarunkowane błędami zaokrążeń komputera w tym przypadku można pominąć jako małe wyższego rzędu. Natomiast współrzędne prostokątne wyznaczane za pomocą współczesnych odbiorników GPS są obciążone błędem do kilku metrów. Błędy pomiaru współrzędnych nie są więc większe niż błędy pomiaru odległości, jakimi obciążone są pomiary wykonywane przez urządzenie śledzące cel (np. radar).

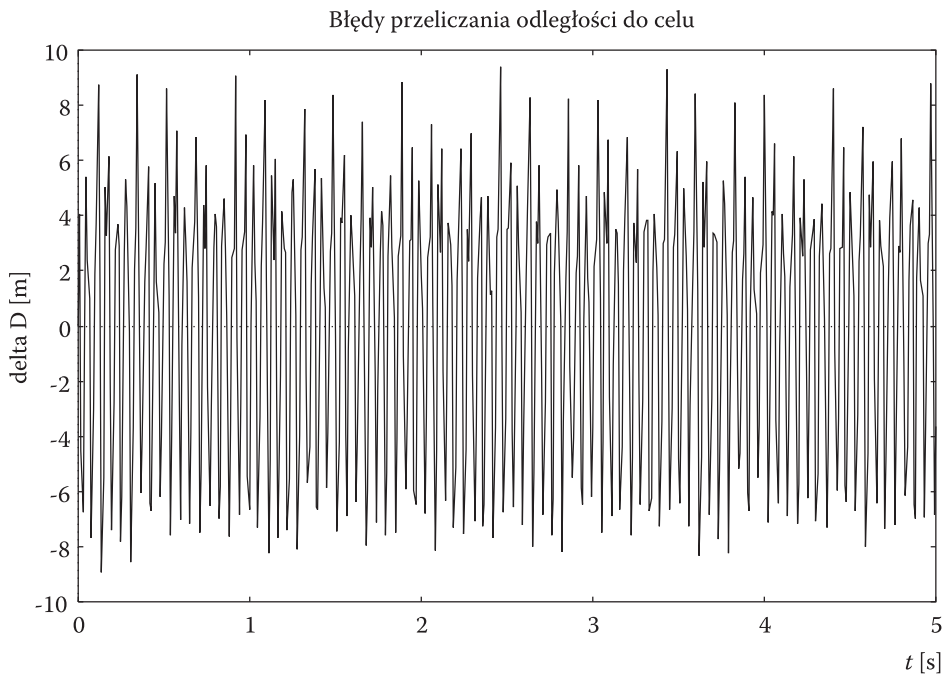
W celu sprawdzenia dokładności obliczania współrzędnych bieżących celu dla stanowiska ogniowego w oparciu o dane obciążone losowymi błędami pomiarowymi, przeprowadzono symulacje współrzędnych sferycznych obciążonych skorelowanymi losowymi błędami pomiarowymi o funkcji autokorelacji:

$$K_i(\tau) = \sigma_{z_i}^2 \cdot e^{-\alpha_{z_i} \cdot |\tau|} \cdot \cos(\beta_{z_i} \cdot \tau) \quad (3.7)$$

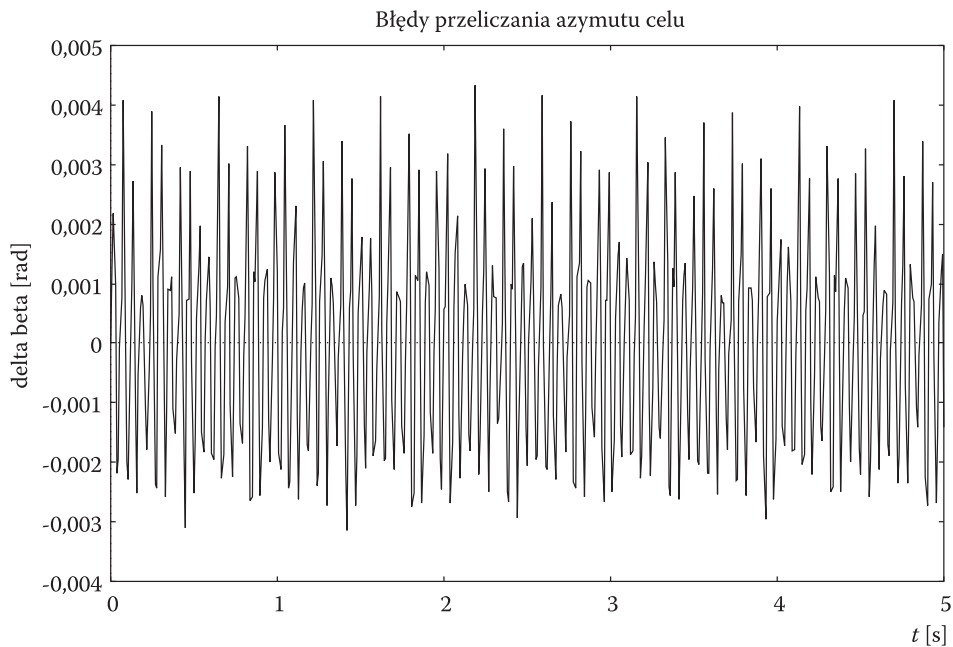
Na podstawie analizy wykresów błędów współrzędnych celu przeliczonych dla stanowiska ogniowego armaty (rys. 3.6-3.8) można stwierdzić, że przeliczenie bieżących współrzędnych nie zwiększa błędów pomiaru tych współrzędnych przez radar śledzący cel powietrzny.

Filtry cyfrowe, przeznaczone do wyliczania pochodnych współrzędnych lub predykcji wyznacza się dla zadanej funkcji autokorelacji losowych błędów pomiaru współrzędnych celu. W celu sprawdzenia czy przeliczenia współrzędnych nie zmieniają postaci funkcji autokorelacji na drodze symulacji cyfrowej, wyznaczono funkcje autokorelacji zakłóceń pomiaru współrzędnych przed przeliczeniem i po nim.

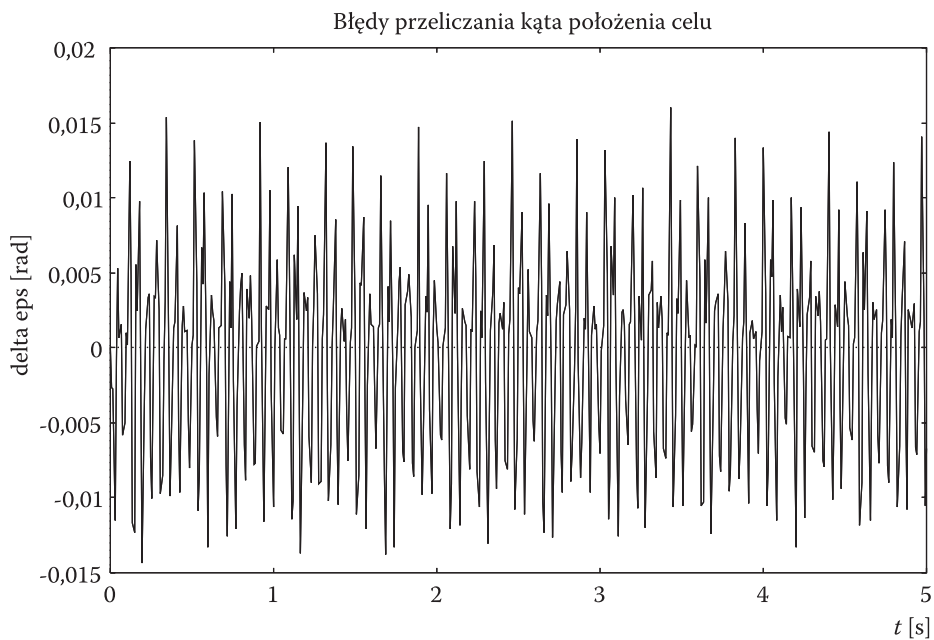
Wyniki symulacji funkcji autokorelacji bieżących współrzędnych celu przed przeliczeniem i po przeliczeniu, przedstawione na rysunkach 3.9-3.11, potwierdzają, że nie odbiegają one znacznie od siebie. Na podstawie powyższego można stwierdzić, że przeliczanie bieżących współrzędnych celu nie wpłynie na zwiększenie błędów wyliczania nastaw działowych.



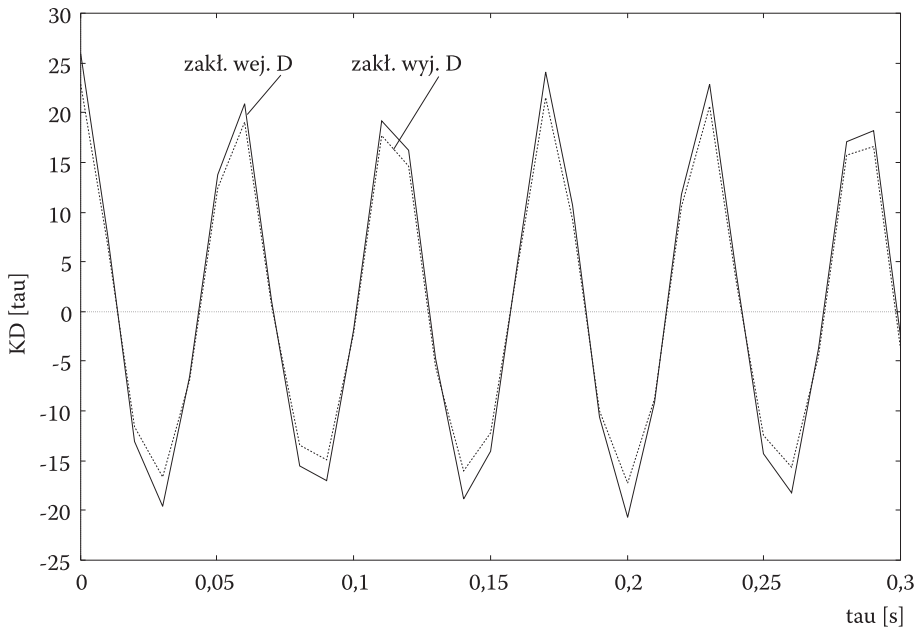
Rys. 3.6. Błędy przeliczonej dla stanowiska ogniowego armaty odległości do celu



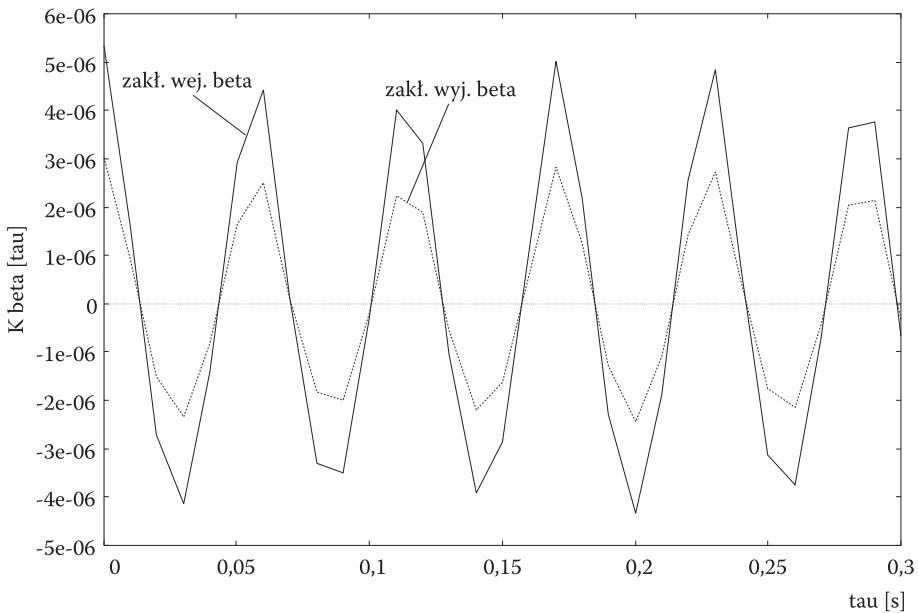
Rys. 3.7. Błędy przeliczane dla stanowiska ogniowego armaty azymutu do celu



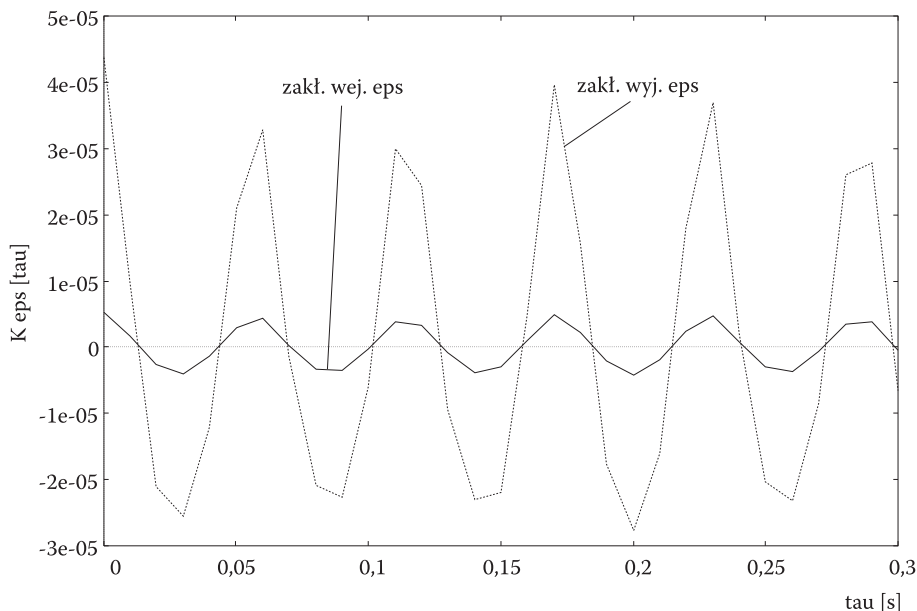
Rys. 3.8. Błędy przeliczonego dla stanowiska ogniowego armaty kąta położenia celu



Rys. 3.9. Funkcje autokorelacji losowych błędów pomiaru odległości przed przekształceniem i po przekształceniu



Rys. 3.10. Funkcje autokorelacji losowych błędów pomiaru azymutu przed przekształceniem i po przekształceniu



Rys. 3.11. Funkcje autokorelacji losowych błędów pomiaru kąta położenia celu przed przeliczeniem i po przeliczeniu

#### 4. Wnioski końcowe

W dobie lawinowego rozwoju techniki komputerowej, a przy tym rosnących możliwości obliczeniowych procesorów, celowe wydaje się prowadzenie badań związanych z coraz to dokładniejszymi algorytmami obliczeniowymi. Szczególne znaczenie mają tutaj zagadnienia związane z analizą błędów.

Przeprowadzone obliczenia błędów spowodowanych przeliczaniem bieżących współrzędnych dla stanowiska ogniowego armaty znajdującej w odległości od kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów potwierdzają hipotezę, że wykorzystywanie bieżących współrzędnych celu z oddalonego źródła nie spowoduje zwiększenia błędów wyliczania nastaw działowych. Przy założeniu, że każda współrzędna będzie przesyłana w postaci 32 bitów, a wymagany okres dyskretyzacji współrzędnych wynosi 0,02 s, wymagana prędkość przesyłu współrzędnych powinna wynosić bitów/s. Zatem łącze o prędkości przesyłu danych 9600 bitów/s w zupełności wystarczy. Obecnie prędkości takie są wykorzystywane w wielu protokołach transmisji z wykorzystaniem portów szeregowych RS232 (np. transmisja danych GPS w protokole TSIP — *Trimble Standard Interface Protocol*).

Podsumowując, można stwierdzić, że dzięki zastosowaniu przesyłania bieżących współrzędnych z oddalonego źródła (w czasie rzeczywistym) istnieje możliwość



rozwiązania ważnego problemu artylerii przeciwlotniczej — skrócenia czasu reakcji zestawu przy zachowaniu dokładności wyznaczania nastaw działowych.

Artykuł wpłynął do redakcji 24.05.2007 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano we wrześniu 2007 r.

#### LITERATURA

- [1] W. BOROWCZYK, *Synteza optymalnego filtra liniowego spełniającego warunek minimum wariancji błędu losowego, przeznaczonego do wygładzania i predykcji*, Postępy Cybernetyki, 1988, 79-92.
- [2] W. BOROWCZYK, *Synteza optymalnego filtra predyktora dla kryterium maksimum prawdopodobieństwa niewychodzenia błędu z zadanego przedziału*, Biul. WAT, 12 (472), Warszawa, 1991.
- [3] W. BOROWCZYK, A. WOCHNA, W. KACZMAREK, *Badanie wpływu czasu obserwacji i okresu dyskretyzacji na dokładność wyliczania nastaw działowych w armatach przeciwlotniczych*, III Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”, Waplewo, 2000.
- [4] W. BOROWCZYK, *Analiza przydatności różnego rodzaju filtrów do wyznaczania wyprzedzeń współrzędnych celu oraz metody ich wyznaczania*, Biul. WAT, 54, 9 (637), Warszawa, 2005.
- [5] W. BOROWCZYK, *Analiza wpływu rzędu zastosowanych filtrów cyfrowych na dokładność rozwiązania zagadnienia trafienia*, Biul. WAT, 54, 9 (637), Warszawa, 2005.
- [6] Instrukcja odbiornika GPS Lassen SQ firmy Trimble, USA, 2002.
- [7] W. KACZMAREK, *Metody dowiązania i orientowania przeciwlotniczych zestawów artyleryjsko-rakietowych wyposażonych w celownik CP-1*, Biul. WAT, 54, 9 (637), Warszawa, 2005.
- [8] W. KACZMAREK, J. PANASIUK, *Dowiązanie przeciwlotniczych zestawów artyleryjsko-rakietowych z wykorzystaniem odbiornika GPS Lassen iQ na platformie VIPER*, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna CRAAS, Kraków, 2005, 199-209.
- [9] J. LAMPARSKI, *Navstar GPS — od teorii do praktyki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, 2001.
- [10] H. LEŚNIOK, *Wykłady z geodezji*, PAN, Warszawa, 1970.
- [11] Wydawnictwa Zarządu Topograficznego Sztabu Generalnego WP.

W. BOROWCZYK, W. KACZMAREK

#### Calculation of current co-ordinates of aerial target based on the coordinates measured by distant tracking systems

**Abstract.** In this paper, the problem of calculation of current co-ordinates of aerial target is presented. The authors present the methods employing GPS-based satellite navigation systems in anti-aircraft defence and the problem of transformation of coordinates in different coordinate systems. Moreover, the authors present an analysis of advanced calculation errors.

**Keywords:** Global Positioning System (GPS), anti-aircrafts systems, current co-ordinates of aerial aim

**Universal Decimal Classification:** 527