

UKŁAD SAMONAPROWADZANIA POCISKU MOŹDZIERZOWEGO Z WYKORZYSTANIEM UKŁADÓW ROZPOZNAWANIA POŁOŻENIA PRZESTRZENNEGO OPARTYCH NA SZTUCZNYCH SIECIACH NEURONOWYCH

W referacie przedstawiono niektóre problemy związane z systemem sterowania inteligentnych pocisków moździerzowych przy pomocy raketowych silników korekcyjnych działających bezpośrednio na środek ciężkości pocisku.

1. Wprowadzenie do zagadnienia

W referacie zawarte zostały wybrane wyniki badań nad zagadnieniem naprowadzania przeciwpancernych pocisków moździerzowych z górnej półsfery poprzez korygowanie ich toru lotu przy pomocy jednorazowych impulsowych raketowych silników korekcyjnych. Szczególną uwagę zwrócono na problemy występujące przy strzelaniu na maksymalnych zasięgach oraz przedstawiono propozycję ich rozwiązania opartą na algorytmach sterujących bazujących na sztucznych sieciach neuronowych.

Pocisk wystrzelony jest z moździerza i sterowany jest jedynie w fazie opadania już na stromym odcinku swej trajektorii lotu. Pocisk taki realizujący zasadę "fire and forget" jest niejako wstrzeliwany w obszar działania i dopiero w końcowej stromej fazie swego lotu jest naprowadzany na cel. Musi być dość dokładnie wstrzelony nad obszar działania celu. Zakłada się, że głowica śledząca ma kąt obserwacji do 12° i postrzega cele z odległości do 1000m. Pocisk wiruje w trakcie lotu ruchem wymuszonym poprzez przekoszenie brzechw.

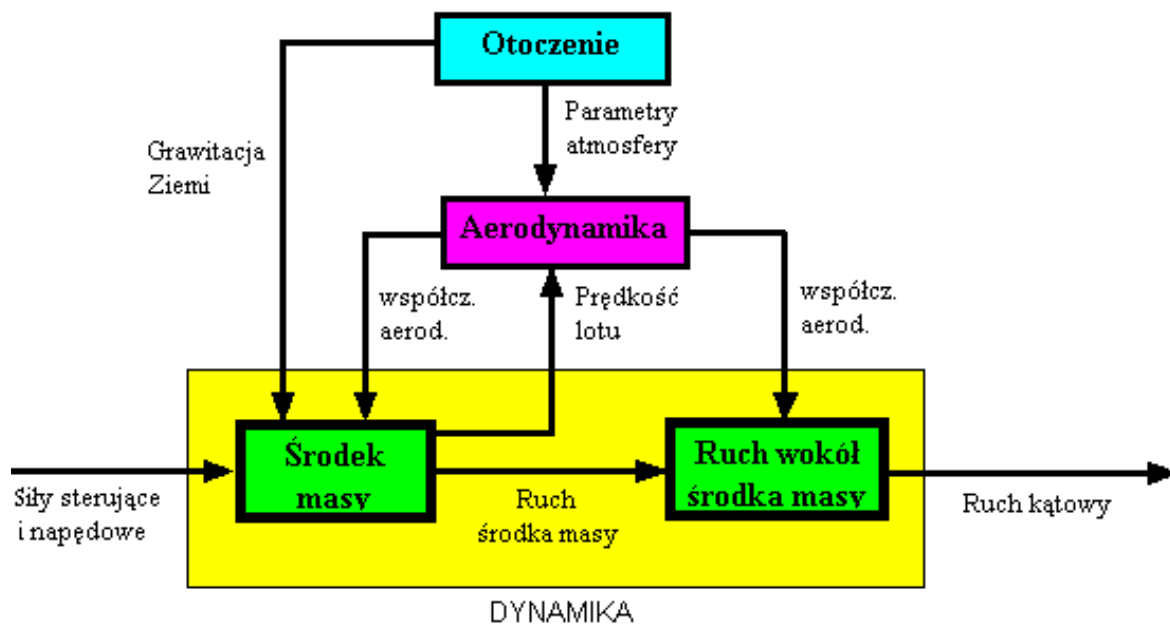
Funkcjonowanie pocisku możemy podzielić na kilka etapów:

1. Wykrycie celu przez obserwatora, obliczenie danych ogniowych.
2. Wystrzelenie pocisku, ruch w lufie, rozłożenie stateczników.
3. Balistyczna faza lotu pocisku.
4. Faza lotu kierowanego. W jej czasie pracuje głowica samo naprowadzająca. Następuje przechwycenie i wybór celu oraz sterowanie pociskiem przy pomocy silników korekcyjnych, aż do momentu uderzenia pocisku w cel.

W takim typie pocisku, gdzie sterowanie lotem jest tylko w końcowej jego fazie, wymagane jest niezbyt duże ale szybkie wpływanie na jego wektor prędkości. Zadanie takie bardzo dobrze może być zrealizowane przez układ wykonawczy

zbudowany na bazie rakietowych silników korekcyjnych. Niewielkie silniki rakietowe skuteczniej będą oddziaływać na wektor prędkości pocisku niż klasyczne sterowanie aerodynamiczne. Przez co mogą dać lepsze od niego efekty samonaprowadzania.

2. Dynamika zjawiska

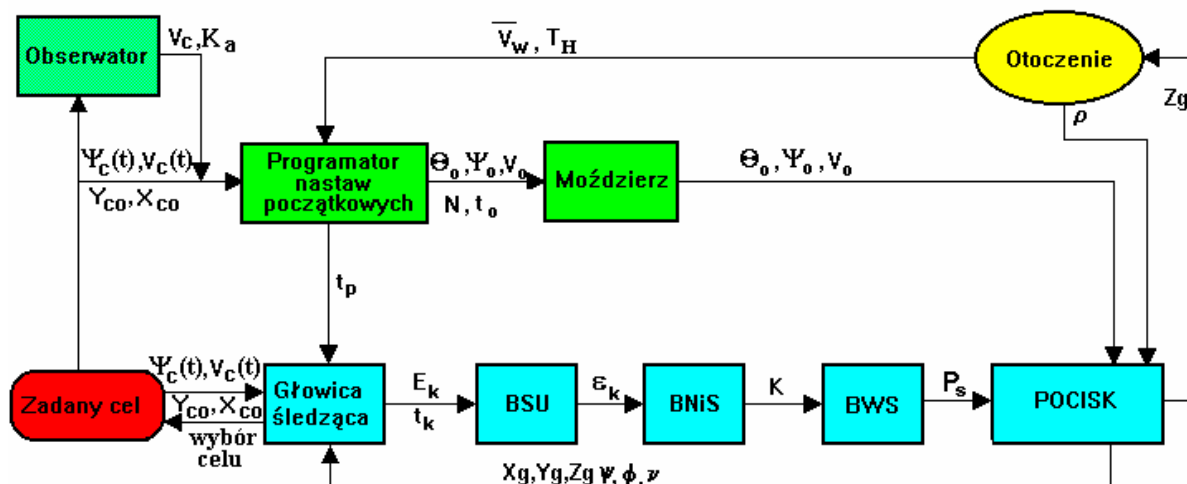


Rysunek 1. Schemat blokowy dynamiki obiektu latającego sterowanego poprzez oddziaływanie bezpośrednio na środek ciężkości.

Stosowane dotychczas metody sterowania obiektami latającymi zakładają, iż układ wykonawczy sterowania tak oddziałuje na obiekt sterowany aby siły pochodzące od sterów wywoływały zmianę momentu sił oddziałujących na obiekt, powodując jego obrót wokół środka masy, dzięki czemu powierzchnie nośne otrzymują niezbędny kąt natarcia potrzebny do wytworzenia siły sterującej. Tak więc najpierw wywołany jest obrót obiektu wokół środka masy co dopiero pociąga za sobą zmianę wektora prędkości środka masy obiektu.

W proponowanym rozwiązaniu układ wykonawczy sterowania (zespół rakietowych silników korekcyjnych) oddziałuje na środek masy obiektu a ruch wokół środka masy jest dopiero następstwem tego pierwszego i oddziaływań aerodynamicznych (rysunek 1). Rozwiązanie takie pozwala na dużo efektywniejsze oddziaływanie na jego wektor prędkości.

W obiektach wirujących, gdzie jeden kanał służy do sterowania zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej, przyjęcie takiego rozwiązania pozwala nie tylko na szybszą reakcję obiektu na bodźce sterujące ruchem a co za tym idzie możliwość precyzyjniejszego naprowadzania obiektu na cel, lecz również umożliwia uproszczenie układu wykonawczego sterowania.



Rysunek 2. Schemat blokowy systemu naprowadzania pocisku do celu.

System naprowadzania, będący przedmiotem opisu, nie posiada giroskopowego układu odniesienia. Cały proces naprowadzania, realizowany w systemie, jest prowadzony w układzie współrzędnych związanych z wirującym pociskiem. Upraszcza to znacznie aparaturę sterującą ale jednocześnie komplikuje logikę przetwarzania sygnałów oraz dynamikę sterowanego ruchu obiektu.

Ogólny schemat blokowy systemu, opisujący podstawowe jego funkcje przedstawia rysunek 2. Podstawowymi właściwościami tego systemu są:

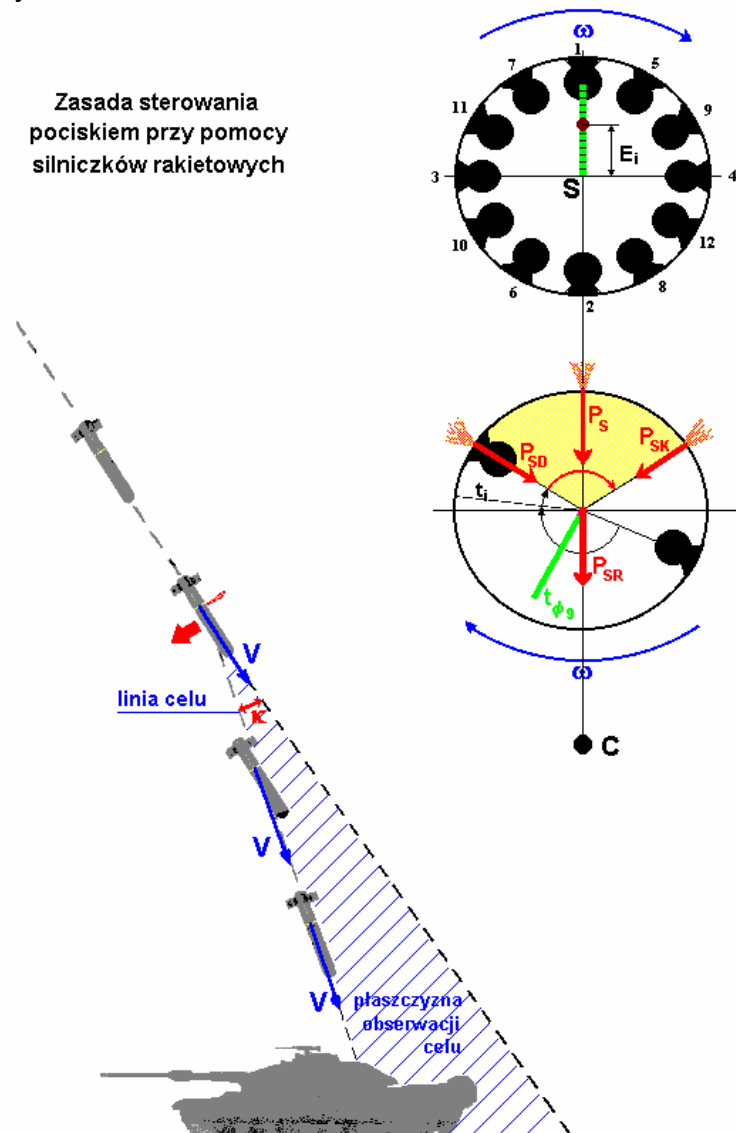
- Głowica Śledząca z liniowym jednowymiarowym detektorem mozaikowym związanym z wirującym pociskiem, umożliwia on nieciągły (raz na jeden obrót pocisku) pomiar kąta odchylenia linii obserwacji celu;
- Blok Sygnału Uchybu (BSU) przetwarzający impulsowy sygnał uchybu E na sygnał ciągły ϵ , w bloku tym dokonujemy również filtracji i prognozowania;
- Blok Nawigacji i Sterowania (BNiS) inicjuje proces sterowania oraz ocenia wzajemne położenie pocisku i celu w następstwie czego generuje sygnał sterujący K ;
- Blok Wykonawczy Sterowania (BWS) składa się z zespołu jednorazowych silników korekcyjnych rozmieszczonych promieniście wokół środka ciężkości pocisku.

3. Metoda realizacji sterowania impulsowego poprzez raketowe silniki korekcyjne

W rozwiązaniu tym sterowanie jest realizowane za pomocą jednorazowych raketowych silników korekcyjnych rozmieszczonych promieniście wokół środka ciężkości pocisku. Uruchomienie pojedynczego silnika powoduje powstanie impulsu siły skierowanego prostopadle do osi głównej symetrii pocisku i skierowanego wzdłuż prostej przechodzącej przez jego środek ciężkości (rysunek 3).

Zadziałanie silnika oddziałuje bezpośrednio na zmianę wektora prędkości lotu pocisku zarówno co do kierunku jak i co do wartości. Precyzyjne naprowadzanie na cel realizuje się poprzez kolejne odpalenie kilku silników. Na podstawie pomiaru

położenia celu w polu widzenia, wypracowywany jest czas i kierunek impulsów korygujących tor lotu, a następnie sygnały inicjujące dla impulsowych rakietowych silników sterujących.

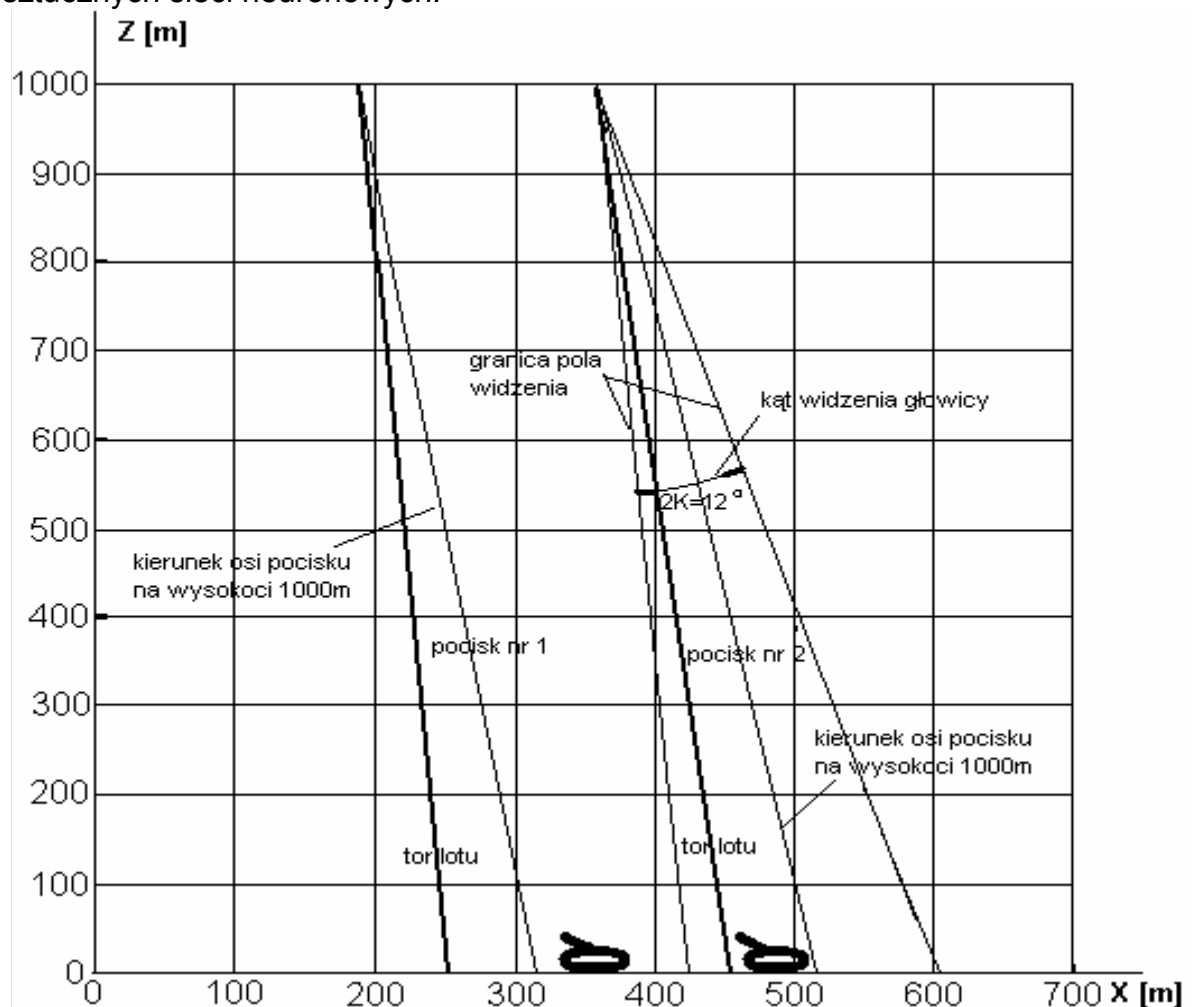


Rysunek 3. Sposób realizacji sterowania

4. Problem oceny położenia pocisku względem celu

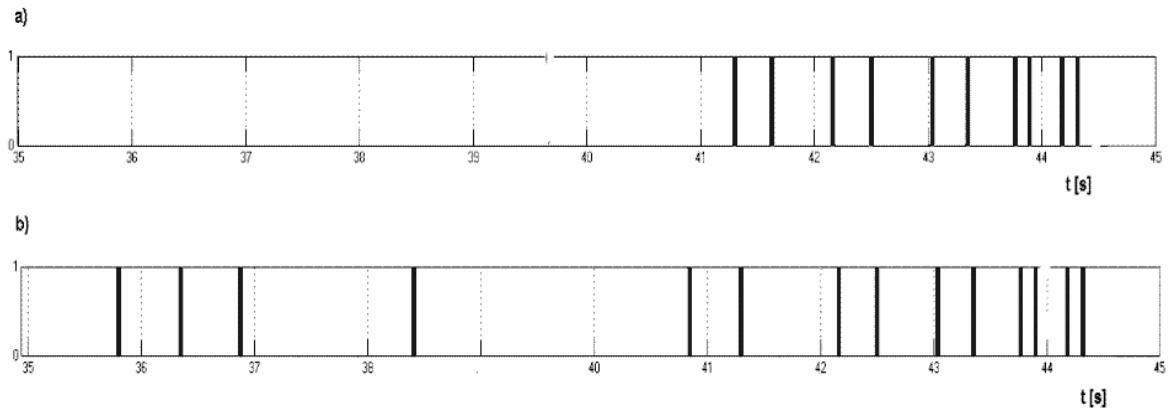
Oparty na tych założeniach układ sterowania pociskiem dał zadawalające rezultaty. Uchyby końcowe mieszczące się w obrysie przeciętnego czołgu przyjmując jako punkt celowania obszar najcieplejszy czyli silnik. Jakość sterowania pogarsza się jednak gdy trajektoria lotu pocisku lub bomby jest bardziej płaska. Szczególnie dotyczy to strzelania pociskiem na dalsze odległości. Płaska trajektoria lotu może powodować niedoloty pocisków w skrajnych przypadkach uniemożliwiające trafienie w cel. Dla układu sterowania bardzo istotną informacją pozwalającą układowi sterowania przeciwdziałać temu zjawisku jest kąt obrotu pocisku i wynikająca stąd możliwość oceny, czy cel jest widziany poniżej, czy powyżej osi głównej pocisku. Informacja taka jest zazwyczaj dostępna z układu giroskopowego. Jego zastosowanie podraża jednak koszty pocisku, komplikuje jego konstrukcję a w

przypadku pocisków moździerzowych jest często niemożliwe z powodu przeciążeń panujących przy wystrzale. W przedstawionych badaniach ocenę położenia czy cel jest widziany powyżej czy poniżej osi pocisku starano się uzyskać przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych.

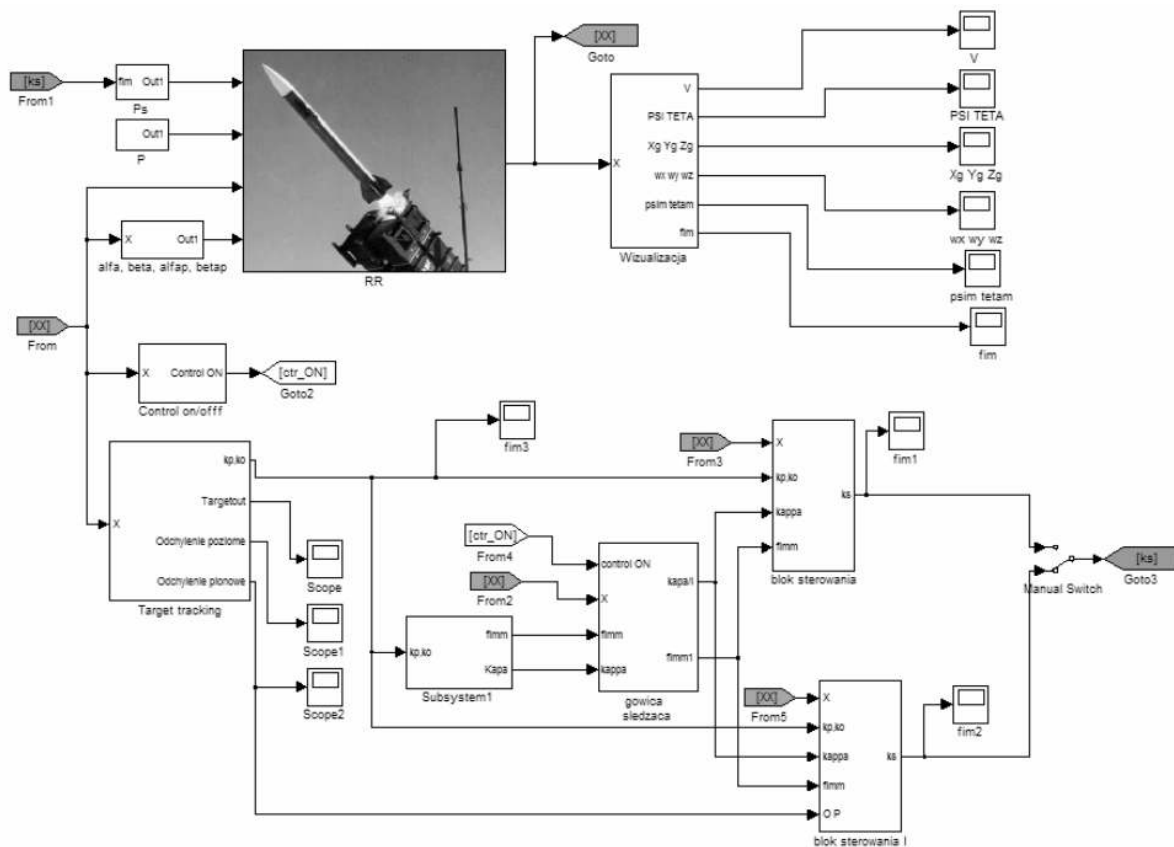


Rysunek. 4. Tory lotu i parametry śledzenia celu z wysokości 1000m dla pocisków 1 i 2.

Na rysunku 4 przedstawiono dwa skrajne przypadki sytuacji pocisku w chwili rozpoczęcia sterowania. Pocisk nr 1 widzi cel powyżej swojej osi głównej. Pocisk nr 2 widzi cel poniżej swojej osi głównej. Zaznaczony grubszą linią tor lotu odpowiada lotowi niesterowanemu a zatem przedstawia zmiany kierunku osi głównej pocisku. Widzimy stąd, że w pierwszym przypadku sterowanie należy rozpocząć niezwłocznie po detekcji celu w drugim przypadku znacznie korzystniej będzie aż oś pocisku przejdzie przez cel. Daje nam to bardziej stromy tor ataku (łatwiejszy w sterowaniu) i pozwala użyć mniejszej ilości impulsowych silników korekcyjnych. Rysunek 5 przedstawia rozkład impulsów w trakcie lotu sterowanego dla pocisku drugiego z rysunku 4. Wykres a) z informacją czy cel znajduje się powyżej osi pocisku, wykres b) bez tej informacji. Dokładność trafienia w pierwszym przypadku jest od 30 do 50% większa mimo użycia mniejszej liczby silników sterujących.



Rysunek 5. Przebiegi impulsów od silników sterujących dla pocisku 2
 a) z dodatkową informacją o położeniu przestrzennym
 b) bez dodatkowej informacji



Rysunek 6. Model sterowanego pocisku w środowisku Matlab/Simulink.

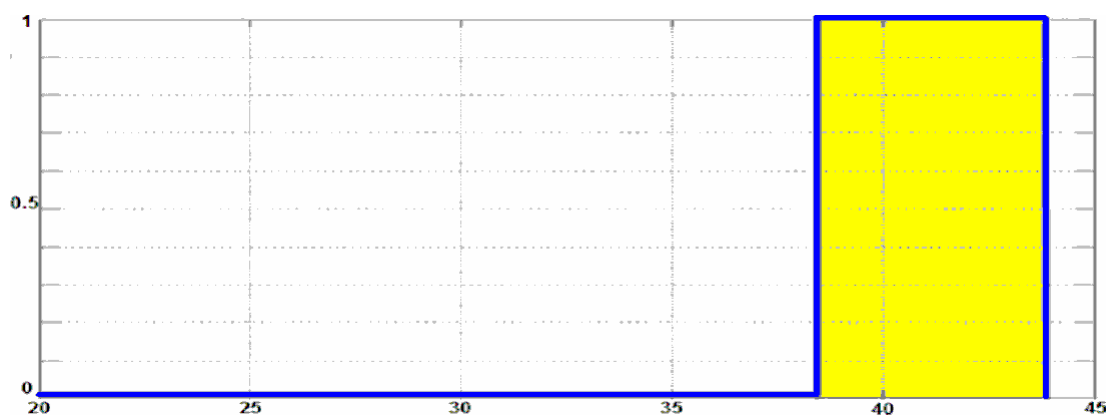
Jednak dla związanej na stałe z pociskiem głowicy śledzącej obydwa przypadki są nierozróżnialne. Kąt uchybu pod jakim głowica widzi cel jest w obu przypadkach taki sam. Brak układu giroskopowego nie pozwala na rozróżnienie obu przypadków. W celu rozpoznania w której powyższych sytuacji znajduje się nasz pocisk zastosowano układ oceny położenia przestrzennego pocisku oparty na sztucznych sieciach neuronowych. Użyto trójwarstwowej sieci neuronowej propagacji wstecznej błędu która analizuje przebiegi czasowe zmian kąta uchybu. Na podstawie tych zmian sieć ocenia czy cel znajduje się powyżej czy poniżej osi głównej pocisku.

Sieć korzysta dodatkowo jeszcze z informacji o bieżącej prędkości obrotowej pocisku.

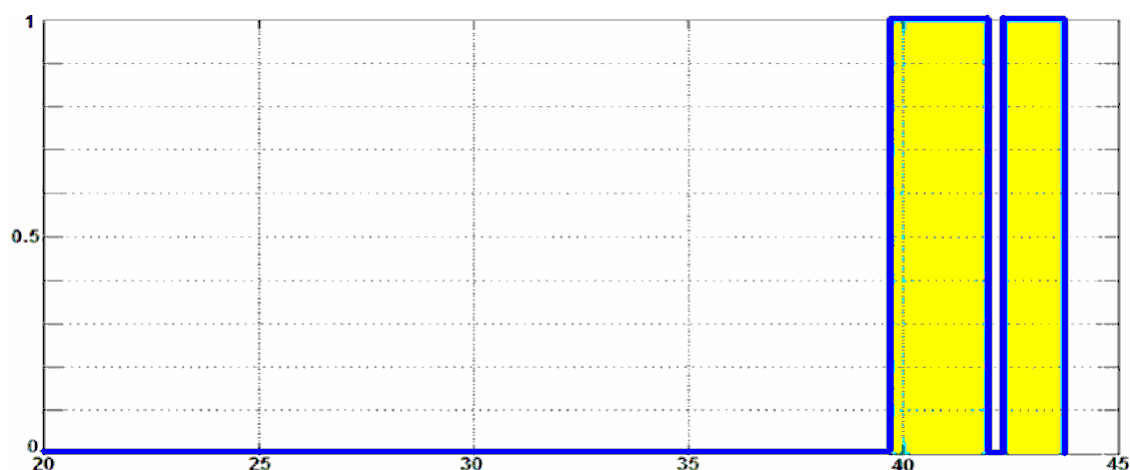
5. Badania

Badania przeprowadzono w oparciu o modele symulacyjne pocisku moździerzowego i bomby lotniczej zbudowane w środowisku Matlab/Simulink. Układ sterowania wykonany jest w trzech wersjach. Pierwsza wyposażona jest w informacje z układu giroskopowego. Druga nie posiada tej informacji a w trzeciej zastosowano moduł z siecią neuronową. W układzie sterowania wykorzystano sztuczną sieć neuronową propagacji wstecznej błędu. Sieć posiadała trzy warstwy po 50 neuronów w każdej. Pary uczące zostały wykonane na podstawie pracy układu wyposażonego w giroskop. Na tej podstawie sieć była uczona rozpoznawania czy cel jest widziany powyżej czy poniżej osi głównej pocisku zastępując w kolejnych symulacjach układ giroskopowy.

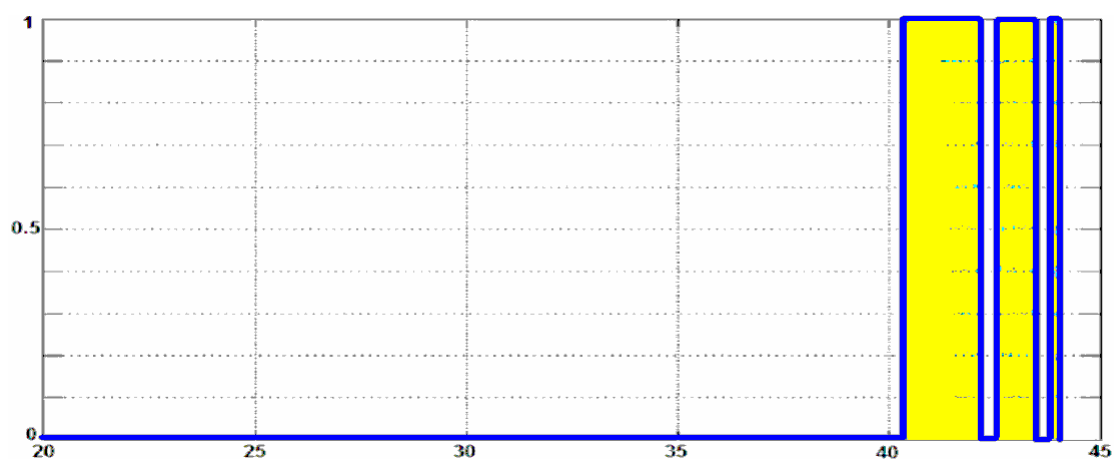
Rysunki 7 a, b i c przedstawiają wykresy sygnałów sterujących dla przypadku lotu pocisku 2 z rysunku 4. Pocisk leci najpierw lotem niesterowanym i w trzydziestej dziewiątej sekundzie następuje detekcja celu. Na rysunku 7a mamy przebieg sygnału sterującego gdy układ sterowania pozbawiony jest informacji o tym czy cel jest widziany powyżej czy poniżej osi głównej pocisku. Rysunek 7b pokazuje przebieg tegoż sygnału gdy układ sterowania wyposażony jest w informacje o kacie obrotu pocisku. Rysunek 7c przedstawia przebieg sygnału sterującego w czasie lotu pocisku dla sterowania bez układu giroskopowego z zastosowaniem sieci neuronowej do oceny położenia przestrzennego pocisku względem celu. Wyniki uzyskane dla tych eksperymentów numerycznych najlepsze otrzymano dla przypadku b. Jednak wynik sterowania mierzony uchybem końcowym trafienia uzyskany dla przypadku c jest o 50% lepszy niż dla przypadku a. Nie udało się nam jak na razie poprzez użycie sztucznej sieci neuronowej uzyskać wyniku takiego samego jak dla układu sterowania wyposażonego w giroskop. Sieć nie zawsze prawidłowo ocenia położenie przestrzenne pocisku względem celu. Jednak jej użycie poprawia rezultaty uzyskane bez użycia giroskopu.



Rysunek 7a Przebieg sygnału sterującego w czasie lotu pocisku dla sterowania bez układu giroskopowego.



Rysunek 7b Przebieg sygnału sterującego w czasie lotu pocisku dla sterowania z układem giroskopowym.



Rysunek 7c Przebieg sygnału sterującego w czasie lotu pocisku dla sterowania bez układu giroskopowego z zastosowaniem sieci neuronowej do oceny położenia przestrzennego pocisku względem celu.

Badania prowadzono w ramach grantu MNil Nr OT00A02826

Literatura

1. R. Vogt, R. Głębocki, „Problemy badawcze i techniczne związane z projektowaniem systemów sterowania lotem małokalibrowych pocisków inteligentnych” IV Konferencja Awioniki Polańczyk 2004, Publikacja w Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej
2. R. Vogt, R. Głębocki, „Smart mortar missiles” 5th International Conference MECHATRONICS 2004 Warszawa wrzesień 2004. Publikacja w miesięczniku naukowo-technicznym „Elektronika”.
3. R. Vogt, R. Głębocki, M. Żugaj, „Zastosowanie sieci neuronowych do oceny położenia przestrzennego sterowanych pocisków moździerzowych i bomb lotniczych” X Krajowa konferencja automatyzacji i eksploatacji systemów sterowania i łączności. Gdynia-Jastarnia październik 2005