

MODELOWANIE CYFROWE PROCESU STEROWANIA SAMOLOTU W RUCHU SPIRALNYM

JĘDRZEJ TRAJER

IMRiL Akademia Rolnicza w Warszawie

1. Wstęp

Poniżej przedstawiono model cyfrowy procesu sterowania zastosowany w symulacji numerycznej lotu samolotu [1], [4], [5].

Uwzględniono, na ile to było możliwe, wszystkie te czynniki które charakteryzują warunki rzeczywiste [2], [3]. Przebiegi czasowe parametrów sterowania czyli wychyleń powierzchni sterowych lotek, steru kierunku i wysokości uzyskano w oparciu o bieżące śledzenie parametrów lotu.

Przyjęty proces sterowania ma charakter dyskretny.

2. Założenia fizyczne lotu sterowanego w spirali

Założono, że zjawisko sterowanego ruchu spiralnego samolotu składa się z trzech zasadniczych faz lotu:

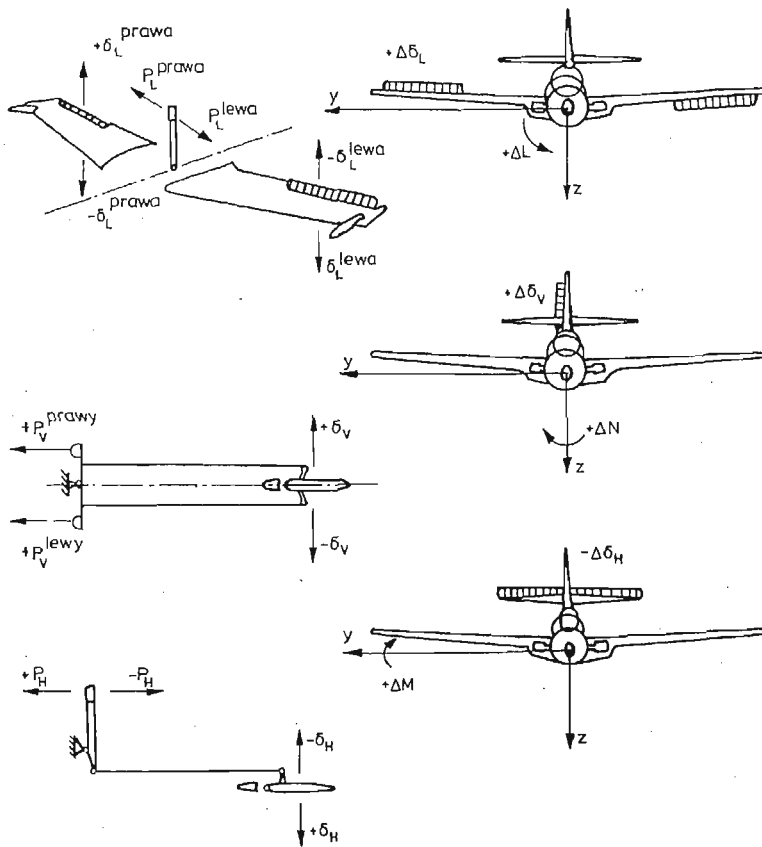
- wprowadzenie,
- lot po linii śrubowej,
- wyprowadzenie.

W poszczególnych etapach występują odmienne warunki lotu i charakteru sterowania [4], [5].

Wprowadzenie samolotu po uprzednim zredukowaniu ciągu następuje z lotu prostoliniowego ustalonego; początkowym impulsem jest ruch przechyłu wynikający z wychylenia lotek.

Sterowanie na zasadzie spełnienia odpowiednich kryteriów lotu jest realizowane w oparciu o bieżącą kontrolę parametrów lotu przez odpowiednie wychylenia powierzchni lotek, steru kierunku i wysokości. Proces sterowania w locie po linii śrubowej dąży do utrzymania warunków ustalonych.

Układ sterowania samolotu przedstawia Rys. 1.



Rys. 1. Układ sterowania samolotu

3. Ogólna koncepcja modelu

W przestrzennym sterowanym ruchu jakim jest spirala nie jest możliwe założenie z góry modelu sterowania, który zapewniłby poprawne wykonanie figury [1], [2].

Modelowanie ruchu samolotu w spirali jest realizowane przez modelowanie procesu sterowania. Metoda ta polega na dyskretnych zmianach wartości parametrów sterowania w oparciu o krokowe bieżące śledzenie rozwiązania i korygowanie go. Stanowi to więc działanie podobne do automatycznego pilota, który ma możliwość reagowania w małych odstępach czasu. Warunkami, które decydują o sposobie sterowania i jego wartości, a więc przebiegu $\delta_s(t)$ są wybrane ograniczenia ruchu oraz faza lotu. W przypadku ruchu spiralnego mogą nimi być na przykład nie przekroczenie w locie krytycznego kąta natarcia, nie przekroczenie dopuszczalnej prędkości kątowej obrotu samolotu, utrzymanie założonego kąta przechylenia samolotu itp. Kryteria te dobiera się w oparciu o szczegółową analizę teoretyczną i doświadczenia pilotażowe, są one odmienne w poszczególnych fazach lotu [1], [2], [3].

Należy nadmienić, że otrzymany sposób sterowania wydaje się być w praktyce do

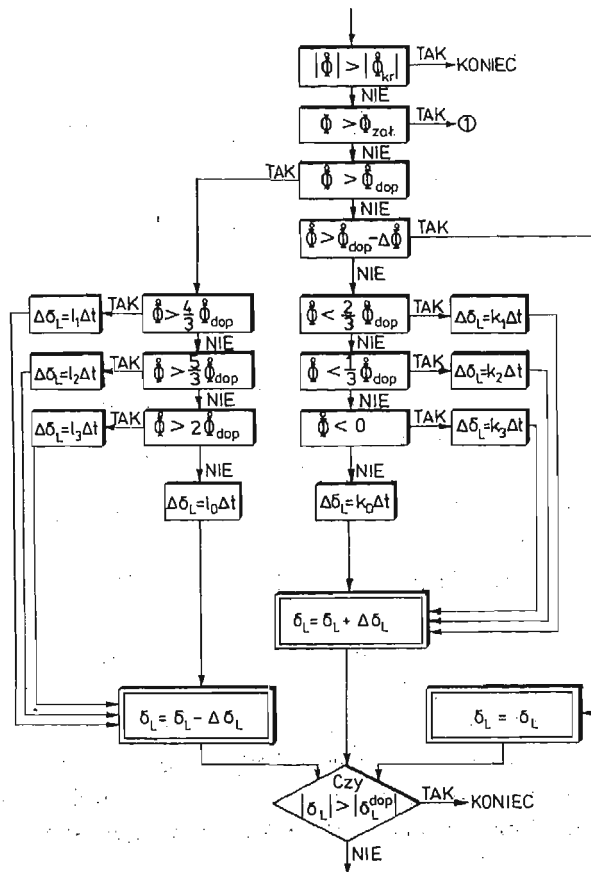
osiągnięcia, pomimo założonych reakcji w krótkich odstępach czasu Δt . Wychylenia sterów w tych okresach czasu są bowiem porównywalne z wartościami Δt .

4. Model cyfrowy procesu sterowania

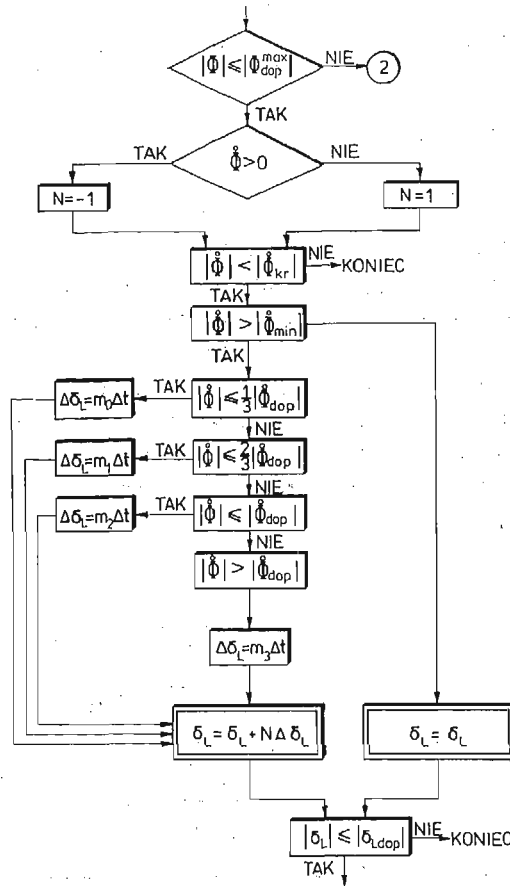
Przedstawiony model cyfrowy procesu sterowania opracowano w oparciu o dane doświadczalne i analizę teoretyczną zjawiska. Metoda modelowania wynika z przyjętych kryteriów dotyczących tego ruchu, jak również uwzględnia możliwości pilota. Maksymalna szybkość zmian kątów wychyleń powierzchni sterowych jest bowiem tak dobrana, aby zapewnić realizację w praktyce.

Dla zilustrowania ogólnej zasady sterowania przedstawiono na Rys. 2 i Rys. 3 sieci działań modelu cyfrowego sterowania lotkami w fazie wprowadzenia i locie po trajektorii śrubowej. Symbole z Rys. 2 i Rys. 3 mają następujące znaczenie:

- 1 — etykieta oznaczająca model sterowania lotkami w locie po trajektorii zbliżonej po linii śrubowej,



Rys. 2. Sieć działań modelu cyfrowego sterowania lotkami w fazie wprowadzenia



Rys. 3. Sieć działań modelu cyfrowego sterowania lotkami w spirali ustalonej

- 2 — etykieta oznaczająca model sterowania lotkami niwelujący za duży przechył samolotu, podobnie jak w fazie wprowadzenia,
 koniec — etykieta oznaczająca przerwanie obliczeń,
 $\dot{\Phi}_{kr}$ — krytyczna prędkość kątowa przechylenia samolotu, przy której ruch przechyłu jest niekontrolowany,
 $\dot{\Phi}_{dop}$ — dopuszczalna prędkość kątowa przechylenia samolotu przy której ruch przechyłu jest jeszcze w pełni kontrolowany,
 $\dot{\Phi}_{min}$ — założona minimalna prędkość kątowa przechylenia, która nie wpływa na charakter ruchu w spirali,
 $\Delta\dot{\Phi}$ — założony przedział zmian prędkości kątowej przechylenia, w którym δ_L pozostaje stałe, wprowadzono w celu bardziej płynnego sterowania,
 Φ_{zal} — założony kąt przechyłu samolotu w locie po trajektorii śrubowej,
 $\dot{\Phi}_{dop}^{max}$ — maksymalna dopuszczalna wartość kąta przechyłu samolotu w spirali ustalonej,
 δ_L^{dop} — dopuszczalna wartość kąta wychylenia lotek,

$\Delta\delta_L$ — wartość przyrostu kąta wychylenia lotek w przedziale czasowym Δt ,

$\left. \begin{matrix} k_0, k_1, k_2, k_3 \\ l_0, l_1, l_2, l_3 \\ m_0, m_1, m_2, m_3 \end{matrix} \right\}$ — współczynnik proporcjonalności

przy czym:

$$k_0 < k_1 < k_2 < k_3,$$

$$l_0 < l_1 < l_2 < l_3,$$

$$m_0 < m_1 < m_2 < m_3.$$

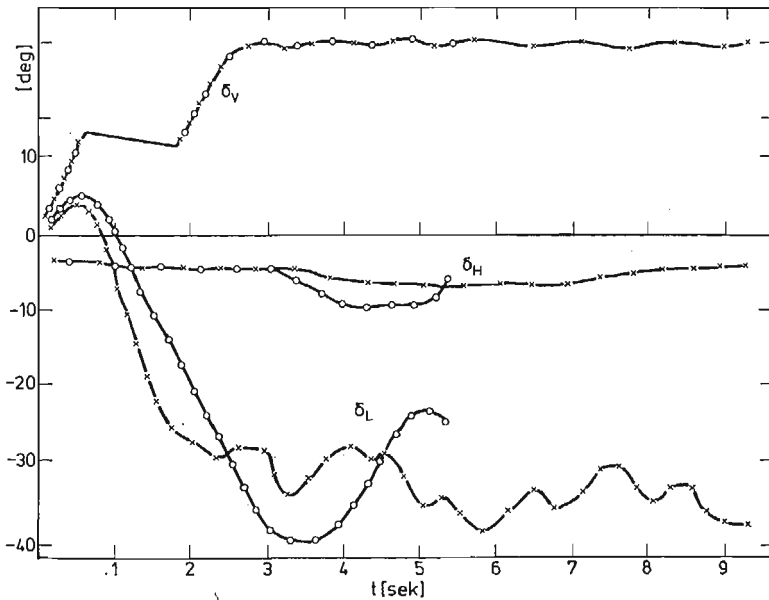
Ilościowego oszacowania tych wielkości dokonuje się w wyniku obliczeń punktu równowagi spirali ustalonej oraz testów programu czyli identyfikacji rozumianej jako proces poszukiwania wartości k_i, l_i, m_i . Wyznaczenie wartości, jak wykazała praktyka, nie jest trudne bowiem istnieje tu pewna dowolność.

Podobną zasadę stosowano do pozostałych kryteriów.

Uzyskany tak proces sterowania ma charakter dyskretny, ale jest zbliżony do rzeczywistego. Stanowi to niewątpliwą zaletę. Mankamentem w stosunku do rzeczywistości jest to, że w przypadku pilota nie jest on w stanie tak dokładnie śledzić na bieżąco wszystkich czynników, działa z opóźnieniem i nie tak precyzyjnie w danej chwili.

5. Wyniki i wnioski

Przykładowo na Rys. 4 podano uzyskane przebiegi czasowe wychyleń powierzchni sterowych lotek δ_L , steru kierunku δ_V i wysokości δ_H w fazie wprowadzenia. Podano



Rys. 4. Przykłady zmian parametrów sterowania w fazie wprowadzenia $\times \times \times$ manewr poprawny, kątowna prędkość przechylenia $\dot{\phi}$ jest kontrolowana, $\cdot \cdot \cdot$ manewr niepoprawny, kątowna prędkość przechylenia $\dot{\phi}$ staje się niekontrolowana

charakter zmian w przypadku manewru nieprawidłowego uzyskanego bez dobrego oszacowania współczynników proporcjonalności k_i , l_i , m_i oraz poprawnego. Jak ilustrują wykresy charakter tych zmian w obu przypadkach jest łagodny. Mała efektywność sterów wynika z przyjętej uproszczonej koncepcji wyznaczania sił i momentów sił aerodynamicznych.

W przyjętym modelu sterowania postać figury jest zdeterminowana przede wszystkim przez fazę wprowadzenia. Stan początkowy lotu i postać ruchu w fazie wprowadzenia decydują również o sukcesie akrobacji. Wynika więc, że należy optymalizować postać spirali z punktu widzenia tych warunków.

Prezentowana metoda modelowania cyfrowego sterowania może mieć zastosowanie do innych przypadków złożonego przestrzennego ruchu samolotu. Wprowadzając pewne modyfikacje można otrzymać proces sterowania prawie identyczny z działaniem pilota.

Literatura

1. B. ETKIN, *Dynamics of atmospheric flight*, John Wiley, New York 1972.
2. W. FISZDON, *Mechanika lotu. Część I i II*, PWN Łódź, Warszawa 1961.
3. *Instrukcja techniki pilotowania i zastosowanie bojowe samolotu TS-11 „Iskra”*, MON Poznań 1973.
4. J. MARYNIAK, Z. GORAJ, E. T. DĄBROWSKA, *Modelowanie i badanie własności dynamicznych samolotów w ruchu przestrzennym*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna ITL WAT Warszawa 1979, Referat problemowy.
5. J. TRAJER, *Modelowanie i badanie własności dynamicznych poddźwiękowego samolotu odrzutowego w sterowanym ruchu spiralnym*, Praca doktorska, Politechnika Warszawska Warszawa 1983.
6. J. MARYNIAK, J. TRAJER, *Symulacja numeryczna sterowanego samolotu w ruchu spiralnym*, MTiS 24 (1986), 3, 387 - 396.

Резюме

ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЁТОМ В СПИРАЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ

В статье представлено численную модель процесса управления самолёта с применением к численной симуляции полёта.

Представлено критерия построения численной модели движения самолёта в управляемом полёте с одновременной контролью параметров полёта необходимых к управлению.

Получено дискретный характер процесса управления. Численные вычисления сделано для самолёта класса TS-11 „Iskra”.

Summary

MODEL PRESENTATION OF NUMERICAL PROCESS OF AIRPLANE CONTROL IN A SPIRAL MOTION

In the paper a numerical model of control process of an airplane for flight numerical simulation is presented.

The physical assumptions, the criteria of constructing numerical model of airplane motion in controlled flight with simultaneous flight control parameters have been discussed.

The assumed model of motion controlling is discrete.

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 26 września 1986 roku