

XI OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA TEORII MASZYN
I MECHANIZMÓW11th POLISH CONFERENCE ON THE THEORY OF MACHINES
AND MECHANISMS

27—30. 04. 1987 ZAKOPANE

Janusz M. MORAWSKI

Instytut Lotnictwa
Warszawa

PODSTAWY TEORETYCZNE I TECHNIKA SYMULACJI PRAGMATYCZNEJ

Streszczenie. W pracy zaprezentowano antropocentryczny punkt widzenia na problemy symulacji, który może być użyteczny wszędzie tam, gdzie występuje bezpośredni kontakt pomiędzy modelem a jego odbiorcą, a w szczególności w treningowych symulatorach lotu. Punktami wyjścia dla tej antropocentrycznej koncepcji symulacji są: znajomość charakterystyk percepcji bodźców u człowieka oraz przejęcie niektórych pojęć semiotyki. Traktując symulację jako język per se należy zauważyć, że bezpośredni kontakt użytkownika z modelem następuje na poziomie pragmatyki. W takim ujęciu widoczne stają się pewne nowe możliwości uproszczenia modelu, co może mieć znaczenie wszędzie tam, gdzie idzie o symulację w czasie rzeczywistym.

Zaprezentowano najważniejsze elementy techniki symulacji pragmatycznej. Dla każdej zmiennej wydzielone zostają frakcje szybko- i wolnozmiennie, które są wyliczane oddzielnie, a następnie mieszane razem w prostym układzie filtrująco-uzgadniającym. Wynikowy czas obliczeń jest uwarunkowany złożonością modelu dla frakcji szybkozmiennnej. Wstępnie oszacowano oszczędności, jakie niesie metoda, wyrażona w pojemności operacyjnej komputera oraz w czasie liczenia.

1. Wprowadzenie

Szczególna jest rola symulacji w systemach, w których dochodzi do bezpośredniego kontaktu między modelem a jego użytkownikiem - interpretatorem. Obecność człowieka jako inherentnego członu systemu pociąga za sobą podstawowy wymóg: realizacji procedur symulacyjnych w tzw. czasie rzeczywistym, to znaczy w tempie (rytmie) identycznym, jak to ma miejsce w oryginalnym przebiegu procesu.

W niektórych problemach opisanej klasy, jak np. w treningowych symulatorach lotu, wymóg realnego czasu ("real time") staje się drastyczny. Złożoność symulowanego procesu lotu, przy jednoczesnej konieczności uzyskiwania sukcesywnych rozwiązań w rytmie zapewniającym wrażenie ciągłości i wierność-

ci informacji odbieranej przez pilota, sprawiają, że niejednokrotnie osiągnięte są granice możliwości operacyjnych komputera. Zagadnieniem o podstawowym znaczeniu staje się wtedy uproszczenie modelu, a ściślej mówiąc, racjonalny kompromis między prostotą a dokładnością (wiernością) symulacji. Z faktu bezpośredniego kontaktu między modelem i jego użytkownikiem wynikają zupełnie nowe możliwości oceny i uproszczenia modelu.

Model lotu zorientowany na pilota będzie oceniony jako dobry, jeżeli przy jego wykorzystywaniu w symulatorze będą angażowane te same zmysły i struktury analityczne systemu nerwowego pilota, jak to ma miejsce w rzeczywistym locie. Miarą podobieństwa będzie wywołanie zbliżonych wrażeń u pilota. Dla obiektywizacji tych ocen, a zatem znalezienia dróg dla uproszczenia modelu, niezbędne jest wykrycie mechanizmów ich powstawania w świadomości człowieka. Podstaw dla tego rodzaju studiów dostarczają niektóre ostatnie osiągnięcia biomechaniki i psychologii analitycznej, a w szczególności dotyczące rytmów lokomocyjnych [13, 18] percepcji sygnałów, rozpoznawania obrazów, podejmowania decyzji, uczenia się itp. [2, 10].

Zarysowuje się pewien antropocentryczny punkt widzenia na symulację, który może okazać się płodnym, jeśli idzie o zasady konstrukcji modelu. Jeśli zauważyć, że symulacja jest językiem per se, językiem sygnałów, modeli, bodźców i wrażeń, staje się możliwe bezpośrednie wykorzystanie aparatu pojęciowego językoznawstwa, a zwłaszcza tych jego działów zajmujących się znakiem, morfemami i semantemami. Zagadnienia te stanowią przedmiot badań semiotyki, w której rozróżnia się trzy poziomy uogólnienia znaku: syntaktykę, semantykę i pragmatykę [20]. Nie ulega wątpliwości, że kontakt pomiędzy modelem i jego bezpośrednim odbiorcą odbywa się w warstwie pragmatyki, odpowiadającej najwyższemu z tych poziomów [15, 17].

Tak pojęta symulacja pragmatyczna zyskała sobie praktyczne zastosowania o ewidentnych efektach w porównaniu z podejściem klasycznym. Kilkuletnie wysiłki doprowadziły do konkretnych metod i technik budowy modeli [6, 7, 9, 14, 16, 17, 18].

2. Wzorce naturalne

Człowiek poddany bodźcom otaczającego świata odbiera te bodźce w formie doznawanych wrażeń. W procesie tym zasadniczą rolę pełnią zmysły, tzn. odpowiednie receptory i cały złożony system analityczno-interpretacyjny, zlokalizowany głównie w centralnym systemie nerwowym. Analiza dowolnego zmysłu wskazuje, że odbiór informacji jest związany z jej redukcją [4, 5]. Proces ten kończy się na wydzieleniu tylko tej frakcji informacji, która ma bezpośrednie znaczenie dla wykonywania aktualnego zadania. Rozwinięte badania fizjologiczne i psychofizyczne prowadzą do wniosku, że percepcja nie może być oddzielona od pamięci [4]. Pamięć pozwala przewidzieć co będzie odebrane za chwilę. Ta właściwość pamięci jest w całej rozciągłości wykorzystywana przez system percepcyjny.

Zgodnie z zaproponowaną przez Craika [3] (1950) i rozwiniętą przez innych badaczy teorią [4, 11], w świadomości człowieka tworzona jest uproszczona reprezentacja świata zewnętrznego - tzw. model wewnętrzny. Model wewnętrzny jest strukturą najzupełniej hipotetyczną, jednak za jej istnieniem w wyższych ośrodkach nerwowych przemawia szereg cech behawioralnych. Działanie modelu wewnętrznego można najprościej wyobrazić sobie jako cykliczne rozwiązywanie równania różniczkowego. Postać tego równania jest zawarta w pamięci. Sekwencyjnie dokonywane obserwacje świata zewnętrznego służą dla formułowania warunków początkowych dla każdego cyklu rozwiązania.

Dokładniejsze badania charakterystyk psychofizycznych zmysłów człowieka wykazują, że reagują one na sam bodziec i na jego co najwyżej pierwszą pochodną względem czasu. Znaczyłoby to, że model wewnętrzny, nawet dla złożonych sytuacji, musi być strukturą nadzwyczaj prostą, opisaną równaniem różniczkowym rzędu nie wyższego niż drugi [4].

Wiele informacji o percepcji człowieka wnoszą ostatnie osiągnięcia biomechaniki. Ośrodki systemu nerwowego człowieka odpowiedzialne za sterowanie szybkozmiennymi procesami zostały ewolucyjnie wykształcone na bazie podstawowych aktów ruchu ciała, do których należą stabilizacja pionowej postawy ciała oraz chód na dwóch kończynach [12, 13]. Te pierwotne zadania, które mają charakter sterowania złożonym obiektem - ciałem, wymagały wykształcenia pamięci o określonych okresach operacyjnych. To szczególne przystosowanie znajduje swój wyraz przede wszystkim w wyraźnie obserwowanych zakresach częstotliwości odbieranych i analizowanych bodźców. Bodźce o częstotliwościach leżących poza tymi zakresami nie są odbierane w ogóle, a w każdym razie nie są kojarzone z procesem, którym steruje człowiek. Omawiany zakres częstotliwości sygnałów, w którym koncentruje się sterowanie ruchem ciała, a który dominuje również w innych zadaniach sterowania, można oszacować w granicach 0,1-1,5 Hz. Jest to pasmo, w którym dominują tzw. rytmy lokomocyjne [12, 13]. Optimum ręcznego sterowania procesami dynamicznymi odbywa się w środkowej części tego wyróżnionego pasma, w zakresie ok. 0,5-0,8 Hz.

Powyższe rozważania prowadzą do następujących wniosków: Podstawą dla antropocentrycznej symulacji winna być jak najpełniejsza znajomość najistotniejszych bodźców i charakterystyk percepcyjnych człowieka. Informacja nie zawarta w modelu wewnętrznym może być w procesie symulacji ograniczona bez istotnego uszczerbku dla wierności odtworzenia rzeczywistych procesów w symulatorze.

3. Technika symulacji pragmatycznej

Technika symulacyjna, którą się teraz zajmujemy, była sukcesywnie prezentowana we wcześniejszych artykułach [6, 7, 8, 9, 16, 17, 18].

Mówiąc o aplikacjach praktycznych posłużymy się przykładem symulacji lotu.

Jak wynika z poprzednich rozważań, symulacja pragmatyczna sprowadza się do pominięcia w modelu wszystkich efektów, które nie stanowią istotnych bodźców informacyjnych dla pilota. W najprostszym ujęciu bodźce informacyjne koncentrują się w paśmie częstotliwości bezpośrednio obejmującym rytm lokomocyjne (RL). W niektórych przypadkach istotną informację stanowią stany ustalony. W praktyce bowiem występują pewne reguły postępowania bądź przyzwyczajenie, dotyczące ustalonych wartości parametrów lotu lub pracy zespołu napędowego, odpowiadające konkretnemu ustalonemu położeniu organu sterowego. Symulacja winna w tych przypadkach uwzględniać zakres częstotliwości w okolicy $f \rightarrow 0$ (praktycznie $f < 0,001$ Hz).

Tak więc symulacja pragmatyczna winna zapewniać w miarę wierną aproksymację charakterystyk samolotu w zakresie częstotliwości 0,05-1,5 Hz oraz w wybranych przypadkach - stan ustalony. Technika symulacji pragmatycznej może być zatem bliżej wyjaśniona w domenie częstotliwości.

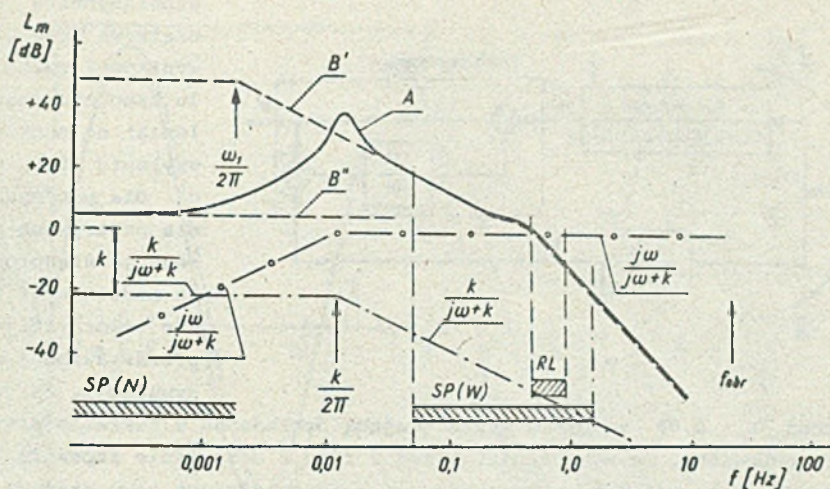
Na rys. 1 pokazano przykładowo charakterystykę amplitudową dla ruchu podłużnego (krzywa A). Jako wielkość sterującą przyjęto wychylenie steru wysokości δ , jako wielkość sterowaną - kąt pochylenia ψ . Wzdłuż osi częstotliwości uwidoczniło zakresy:

- rytmów lokomocyjnych (RL),
- przedziału aproksymacji symulacji pragmatycznej dla wyższych częstotliwości (SP(W)),
- przedziału aproksymacji symulacji pragmatycznej dla stanów ustalonych (SP(N)).

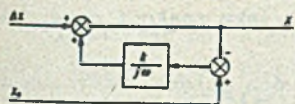
W przedziałach SP(W) i SR(N) charakterystyka wyjściowa (krzywa A) może być aproksymowana odpowiednio krzywą B' i prostą B". Jak widać, aproksymacja taka eliminuje w modelu wpływ oscylacji fugoidalnych (szczególnie rezonansowy krzywej A przy częstotliwości ok. 0,01 Hz), co jest zgodne z powszechnie znanym faktem, że oscylacje tego typu nie absorbują pilota w najmniejszym stopniu, mimo, że odznaczają się bardzo niskim tłumieniem.

Pełna charakterystyka wyjściowa zostaje w ten sposób sprowadzona do dwóch, przy ich istotnym uproszczeniu. Nadto, frakcja niskoczęstotliwościowa, wymagająca złożonych i dokładnych wyliczeń, może być uzyskiwana w rytmie znacznie wolniejszym niżeli frakcja wysokoczęstotliwościowa, co do której wymagania dokładności są o wiele mniejsze. Podstawowy rytm komputacji w symulatorze lotu jest zwykle narzucony przez wymóg ciągłości obrazowania w systemie wizualizacji (obraz generowany komputerowo). Na rys. 1 za rytm podstawowy przyjęto $f_{obr} = 25$ Hz, co odpowiada uzyskiwaniu rozwiązania co każde 40 ms. Jak widać, warunek ciągłości obrazowania jest silniejszy od pozostałych, bowiem częstotliwość f_{obr} o ponad dekadę przewyższa górną granicę pasma SP(W).

Pozostaje do omówienia sposób, w jaki frakcje wolno- i szybkozmienna są kojarzone razem. Rzecz jasna, że proste sumowanie frakcji reakcji układu nie wchodzi w rachubę. Problem polega raczej na odpowiedniej filtracji i uzgodnieniu.



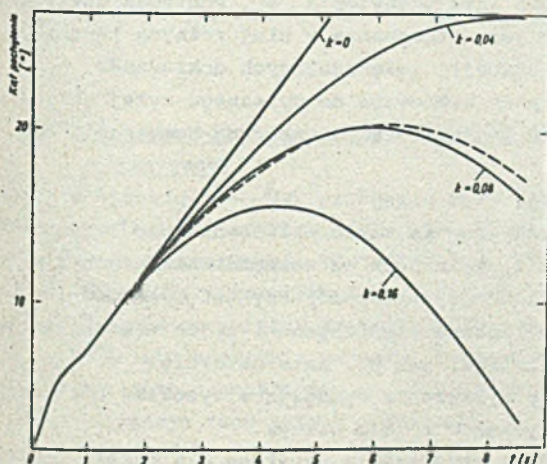
Rys. 1



Rys. 2

Przyjmijmy, że dana zmienna x posiada dwie funkcje: niskoczęstotliwościową x_0 i wysokoczęstotliwościową, którą oznaczymy Δx . Wyżej omówione funkcje filtracji spełnia układ przedstawiony na rys. 2. Nietrudno zauważyć, że zmienna x wyraża się następującą zależnością operatorową

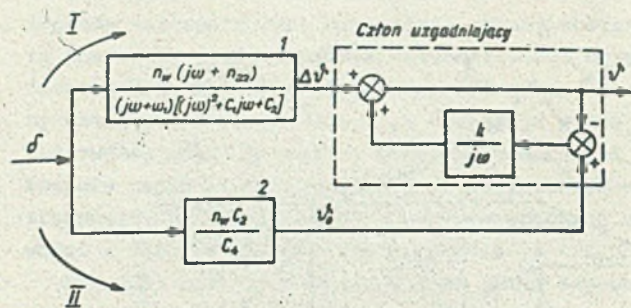
$$x = x_0 \frac{k}{j\omega + k} + \Delta x \frac{j\omega}{j\omega + k}$$



Rys. 3

Sygnały x_0 i Δx partycykują zatem w sygnale wyjściowym x układu przechodząc przez filtry odpowiednio dolno- i górnoprzepustowy. Charakterystyki amplitudowe tych filtrów pokazano na rys. 1.

Działanie układu uzgadniającego z rys. 2 istotnie zależy od parametru k , będącego współczynnikiem wzmocnienia prędkościowego integratora. Wartość tego parametru warunkuje właściwy podział na funkcje wolno- i szybkozmienną. Na rys. 3 pokazano wpływ



Rys. 4

współczynnika k na początkową fazę uzyskanej wynikowej reakcji modelu samolotu (kąt pochylenia) na skokowe wychylenie steru wysokości. Dla porównania, linią przerywaną pokazano reakcję nieuproszczonego modelu wyjściowego, nie wykorzystującego przedstawionej metody symulacji. Jak widać,

wartość $k = 0,08$ zapewnia wystarczającą dokładność w zakresie pierwszych 6-7 s odpowiedzi na wymuszenie. Układ z rys. 2 oczywiście zapewnia również zgodność stanu ustalonego zmiennej x z odpowiadającą temu stanowi zmienną x_0 .

Schemat typowego toru symulacyjnego zawierającego opisany układ uzgadniający dwie funkcje zmiennej przedstawia rys. 4. Przykład dotyczy symulacji ruchu kątownego samolotu (zmian kąta pochylenia ν) jako reakcji na wychylenie steru wysokości δ .

Sygnał wychylenia steru δ jest kierowany do dwóch gałęzi, oznaczonych I i II. Gałąź I zawiera człon 1, modelujący uproszczoną dynamikę samolotu, odpowiadającą charakterystyce oznaczonej A na rys. 1. Gałąź I pracuje w rytmie szybkim. Wyjście tej gałęzi $\Delta \nu$, stanowiące szybkozmienną frakcję reakcji samolotu, wchodzi bezpośrednio do sygnału wyjściowego układu ν . Gałąź II wylicza wartość ustaloną kąta pochylenia ν_0 . Ponieważ gałąź ta pracuje w rytmie wolnym, możliwe jest stosowanie w niej różnych technik uśredniających (np. średniej bieżącej), zwiększających dokładność.

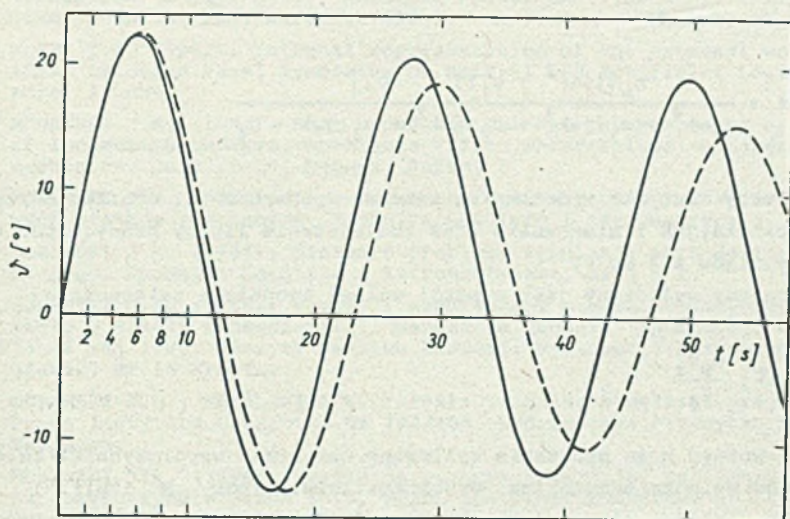
Sygnaly ν_0 i $\Delta \nu$ są następnie kierowane do opisanego wyżej układu uzgadniającego. Sygnał wyjściowy ν jest więc dynamiczną kombinacją obu frakcji.

Sam układ uzgadniający, z wyjątkiem przejścia $\Delta \nu \rightarrow \nu$ pracuje w rytmie zwolnionym. W rytmie wolnym dokonywane są także wyliczenia współczynników transmitancji członu 1 w gałęzi I, zależnych od wolnozmiennych się parametrów lotu, takich jak liczba Macha, prędkość, czy też wysokość lotu.

W rytmie szybkim muszą być wyliczone współczynniki te same transmitancji zależne od szybkozmiennych parametrów, jak np. kąta natarcia.

Należy zauważyć, że wszystkie wyliczenia wymagające wysokiej dokładności (stany ustalone) mogą być dokonywane w rytmie wolnym.

Na rys. 5 porównano przykładowe rozwiązania uzyskane dla modelu dokładnego (krzywa ciągła) i dla uproszczonego (krzywa uproszczona). Oba modele dla pierwszych 5-6 s wykazują prawie identyczną reakcję. Różnice występują dopiero po dłuższym czasie obserwacji (20-40 s), przy czym charakter prze-



Rys. 5

biegu rozwiązań pozostaje ten sam. Różnice między obydwoimi rozwiązaniami są niewyczuwalne przez pilota.

W omówionym przykładzie założono, że charakterystyki odbioru informacji mają przebieg prostokątny. Założenie to jest uzasadnione dla percepcji wzrokowej. W przypadku innych wejść informacyjnych człowieka charakterystyki percepcyjne mogą mieć inny przebieg (por. [8, 9]). Zasady symulacji pozostają jednak wtedy niezmienione.

Wyniki porównawcze dla ruchu bocznego zaprezentowano w pracy Januszewskiego [7].

4. Wstępne oszacowanie korzyści wynikających z zastosowania symulacji pragmatycznej

Pozostając przy omawianym przykładzie ruchu podłużnego możemy się pokusić o wstępne oszacowanie korzyści, jakie niesie proponowana technika, jeśli idzie o możliwości uproszczenia modelu.

Jest rzeczą oczywistą, że w zabiegach ukierunkowanych na szybkość obliczeń decydujące znaczenie ma gałąź szybka oznaczona I na rys. 4. Człon 1 w tej gałęzi jest uproszczonym modelem dynamiki. We wstępnych testach przyjęto transmitancję tego członu o postaci:

$$G(j) = \frac{n_w(j\omega + n_{22})}{j\omega [(j\omega)^2 + c_1(j\omega) + c_2]}$$

Jak wiadomo (por.: Bodnier, 1964), transmitancja dla pełnych równań ruchu podłużnego ma postać:

$$G(j\omega) = \frac{n_w [(j\omega)^2 + c'_1(j) + c'_2]}{(j\omega)^4 + c_1(j\omega)^3 + c_2(j\omega)^2 + c_3(j\omega) + c_4}$$

Już na pierwszy rzut oka widoczne są istotne uproszczenia: obniżenie rzędu zarówno licznika, jak i mianownika oraz zmniejszenie liczby branych pod uwagę współczynników z 7 do 4.

Stan ustalony wyliczany jest w petli wolnej zgodnie z zależnością:

$$j_0 = \delta \cdot \frac{n_w c'_2}{c_4}$$

W rytmie wolnym mogą być także wyliczane wszystkie współczynniki zależne od parametrów wolnozmiennych (np. wysokości lotu, liczby M itp.).

Dodatkowe korzyści mogą być uzyskane na drodze odpowiedniej organizacji procedury z wykorzystaniem podziału czasu. Na przykład, układ uzgadniający może być wspólny dla kilku torów symulacyjnych.

Wstępne oszacowanie oszczędności niezbędnych możliwości operacyjnych komputera, wynikające z zastosowania opisanej metody, wykonane zgodnie ze sposobem zasugerowanym przez Wolina (1976), wyraża się wartością 35-40%. W tymże procencie zawierają się przewidywane oszczędności w czasie liczenia [16].

LITERATURA

- [1] BODNIER W.A. (1964): Teoria awtomatycznego upravljenija poletom. Izd. "Nauka", Moskwa.
- [2] COOMBS C.H., DAWES R.M., TVERSKY A. (1977): Wprowadzenie do psychologii matematycznej, PWN, Warszawa.
- [3] CRAIK K.J.W. (1943): The nature of explanation. Cambridge University Press.
- [4] GERLACH D.H. (1966): Developments in mathematical models of human pilot behaviours. Aeronautical Journal, July, 293-305.
- [5] GIBSON J.J. (1950): The senses considered as perceptual systems. Houghton Mifflin, Boston.
- [6] GRAFFSTEIN J. (1986): Zoptymalizowany sposób wyliczania współczynników uproszczonego modelu dynamiki samolotu w ruchu bocznym. Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 104/105. Wydawnictwa Przemysłu Lotniczego, Warszawa.
- [7] JANUSZEWSKI J. (1986): Porównanie analitycznych i pragmatycznych metod redukcji modelu na przykładzie dynamiki ruchu bocznego samolotu. Prace Instytutu Lotnictwa Nr 104/105, Wydawnictwa Przemysłu Lotniczego, Warszawa.
- [8] KRAWCZYK M., MORAWSKI J.M. (1984): Modele percepcji ruchu przestrzennego u człowieka. Technika Lotnicza i Astronautyczna, nr 7.
- [9] KRAWCZYK M. (1986): Kompleksowy system odwzorowania wrażeń ruchu w kabine symulatora lotu. Prace Instytutu Lotnictwa Nr 104, Wydawnictwa Przemysłu Lotniczego, Warszawa.

- [10] LINDSAY P.H., NORMAN D.A. (1972): Human information processing. An introduction to psychology, Academic Press, Inc. (London). (Patrz także tłum. polskie, PWN, Warszawa 1984).
- [11] McKEY D.M. (1963): Internal representation of the external world. AGARD Avionics Panel Symposium on Natural and Artificial Logic Processor. Athens.
- [12] MORAWSKI J.M. (1981): Some biomechanical and psychomotoric backgrounds of locomotive rhythms. Abstracts VIIIth International Congress of Biomechanics. July 20-24, Nagoya, Japan.
- [13] MORAWSKI J.M. (1982): Biomechaniczne podstawy oceny własności pilotażowych statków latających. Technika Lotnicza i Astronautyczna, nr 5.
- [14] MORAWSKI J.M. (1983): Niektóre problemy symulacji lotu do treningu lotniczego. Technika Lotnicza i Astronautyczna, nr 1 i 2.
- [15] MORAWSKI J.M. (1986): Pomiar i symulacja w ujęciu semiotycznym. Materiały V Szkoły Biomechaniki i Nauczania Techniki Sportowej. Przesieka 13-16 maj 1985. Zeszyty Naukowe Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Nr 46 Wrocław.
- [16] MORAWSKI J.M., KRĘŻLEWICZ L. (1986): Technika symulacji pragmatycznej. Prace Instytutu Lotnictwa Nr 104/105. Wydawnictwa Przemysłu Lotniczego, Warszawa.
- [17] MORAWSKI J.M. (1986): Symulacja pragmatyczna i jej zastosowanie w treningowych symulatorach lotu. Prace Instytutu Lotnictwa Nr 104/105, Wydawnictwa Przemysłu Lotniczego, Warszawa.
- [18] MORAWSKI J.M. (1986): Rytmy lokomocyjne. Geneza i niektóre możliwości praktycznego wykorzystania. Prace Instytutu Lotnictwa Nr 104/105, Wydawnictwa Przemysłu Lotniczego, Warszawa.
- [19] WOLIN L. (1976): Procedure evaluates computers for scientific applications. Electronic Associates, Inc. Computer Design Publishing Company. November.
- [20] ŻYCIŃSKI J. (1983): Język i metoda. Znak, Warszawa.

ПРИНЦИП И ТЕХНИКА ПРАГМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Резюме

В работе представлены проблемы моделирования с антропоцентрической точки зрения. Этот способ анализа может быть полезным везде там где выступает непосредственный контакт между моделью и оператором, в особенности в авиационных тренажерах. Исходными факторами для антропоцентрической концепции моделирования являются: характеристики восприятия стимулов человеком и заимствование некоторых понятий семиотики. Если принять, что моделирование является само по себе языком, тогда следует отметить, что непосредственный контакт оператора с моделью осуществляется на уровне прагматики. Появляются некоторые новые возможности упрощения модели, что имеет значение в проблемах моделирования в реальном времени. Представлены важнейшие элементы исследованной техники. Для каждой переменной выделяются быстро и медленно изменяющиеся фракции, которые рассчитываются отдельно, а затем смешиваются вместе в простой фильтрующе-согласовывающейся системе. Результирующее

время расчета обусловлено сложностью модели для быстро изменяющейся фракции. Дана предварительная оценка экономии, которую дает применение метода, по операционной емкости компьютера и по времени расчета операций.

THEORETICAL BASES AND TECHNIQUES OF PRAGMATIC SIMULATION

S u m m a r y

The paper deals with some man-oriented concepts of simulation which may be applied in all cases when there comes to the direct contact between the model and its user. In particular flight simulators operating in real time are considered. The main bases for the approach are: the knowledge of perception characteristics of man's senses as well as some ideas of semantics. The simulation may be considered as a language per se. The contact between the model and its interpreter takes evidently place at the pragmatic level. Due to the pragmatic approach some new, unconventional means for model reduction become apparent which may be found as essential when the real-time simulation of complex man-machine systems is to be performed.

One presents some details of the particular technique applied. Within each variable the short-term and long-term fractions are detached, each calculated in a separate way and eventually combined together by use of a simple filtering circuit. The overall time of calculation is conditioned by the short-term model complexity. The savings due to the use of the method, expressed in terms of necessary computer capacity and time of calculations have been evaluated.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Witold Pedrycz

Wpłynęło do redakcji 20.X.1986 r.