KIWIEL

POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

WSPOMAGANIE DECYZJI
SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

Wydano z wykorzystaniem dotacji
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Materiały konferencji: "Analiza Decyzyjna, Systemy Eksperckie, Zastosowania Systemów Komputerowych", Warszawa, 25-27 maja 1994r.

Komitet Programowy Konferencji:

Andrzej Ameljańczyk, Zdzisław Bubnicki, Wiesław Grudzewski, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Lech Kruś, Roman Kulikowski (przewodniczący), Kazimierz Mańczak, Ireneusz Nykowski, Zdzisław Pawlak, Roman Słowiński, Andrzej Straszak, Andrzej Weryński, Andrzej Wierzbicki.

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autorów

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1995

ISBN 83-85847-85-5

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROCESU OCENY PILOTÓW SZKOLONYCH NA SYMULATORZE LOTU

Jan GRUSZECKI, Alicja MIESZKOWICZ-ROLKA
Politechnika Rzeszowska

1. WPROWADZENIE

W procesie szkolenia pilotów lotnictwa wojskowego coraz częściej stosuje się symulatory lotu, ze względu na niskie koszty eksploatacji, bezpieczeństwo, możliwość wielokrotnego powtarzania manewrów bez ryzyka spowodowania katastrofy lotniczej.

Ze względu na fakt, że ostatnia generacja symulatorów lotu konstruowana jest w oparciu o sprzęt komputerowy, zaistniała możliwość wykorzystania danych powstających w procesie symulacji do automatycznej oceny pilotów wykonujących postawione zadanie.

Ocena wykonania zadania przez szkolonego pilota polegała dotychczas na ocenie ustalanej przez instruktora prowadzącego szkolenie w oparciu o informację o stanie lotu wskazywaną przez przyrządy pokładowe, obowiązujące normatywy szkolenia oraz kryteria i reguły oparte na doświadczeniu instruktora.

Ze względu na olbrzymi strumień informacji jaki instruktor zmuszony był zapamiętać i przeanalizować w przypadku złożonych zadań szkoleniowych komputerowe wspomaganie procesu oceny okazało się celowe i pożądane.

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie komputerowego systemu wspomagania decyzji instruktora przy ocenie wykonania przez pilota szkolonego na symulatorze lotu określonego zadania bądź wybranej fazy lotu.

2. PROCES STEROWANIA SAMOLOTEM

Proces sterowania samolotem rozpatrywano z punktu widzenia pilota jako operatora obiektu dynamicznego o zmiennej, trudno opisywalnej strukturze w poszczególnych fazach lotu.

Jak wykazały liczne badania [1], [2] pilot jest złożonym, wielokanałowym, adaptacyjnym i uczącym się systemem i przedstawianie go w postaci jednego uogólnionego modelu matematycznego (transmitancji operatorowej) dla wszystkich możliwych sytuacji nie zawsze ma uzasadnienie.

Uwzględniając również psychologiczno-fizjologiczne aspekty działania pilota zaproponowano, aby zachowania sterujące pilota opisać w postaci tzw. *modelu wnioskowania* [3] uznając podane poniżej przesłanki.

Z punktu widzenia operatora, obiekt sterowania charakteryzuje :

1) *przestrzeń obserwacji* określona zmiennymi mierzalnymi i obserwowalnymi na podstawie wartości których operator określa sytuację w sterowanym obiekcie,

2) *przestrzeń celów sterowania* określona zmiennymi charakteryzującymi cele sterowania,

3) *przestrzeń sterowania* określona zmiennymi mierzalnymi i sterowalnymi, za pomocą których operator dąży do osiągnięcia celów sterowania.

Pomiędzy przestrzenią obserwacji, a przestrzenią celów sterowania istnieje ścisła zależność.

Cele sterowania określone w przestrzeni celów sterowania, mogą być odwzorowane w przestrzeni obserwacji, dokonując rozbicia przestrzeni obserwacji na obszary zwane *stanami charakterystycznymi* obiektu.

W przestrzeni sterowania operator określa pewne typowe konfiguracje zmiennych sterujących nazywane *sterowaniami charakterystycznymi.*

Model wnioskowania operatora przy zadanej strukturze celów sterowania zawiera:

a) podział przestrzeni obserwacji na stany charakterystyczne obiektu,

b) podział przestrzeni sterowania na sterowania charakterystyczne,

c) przyporządkowanie każdemu stanowi charakterystycznemu odpowiadającego mu sterowania charakterystycznego.

3. SYSTEM OCENY DZIAŁAŃ PILOTA

3.1 Reprezentacja modelu wnioskowania pilota

Jako reprezentację modelu wnioskowania pilota zaproponowano tablicę decyzyjną w ujęciu systemu informacyjnego [3] .

Uznano, że protokół sterowania samolotu z wyróżnieniem atrybutów warunkowych i decyzyjnych, z uwzględnieniem opóźnienia wprowadzanego przez czynnik ludzki, równoważny jest tablicy decyzyjnej postaci

$$DT = \langle U, C, D, V, f \rangle \qquad (1)$$

gdzie: U - skończony zbiór stanów lotu zwany uniwersum ,
C - zbiór atrybutów warunkowych,
D - zbiór atrybutów decyzyjnych,
$Q = C \cup D$,
$V = \bigcup_{q \in Q} V_q$ - zbiór wartości atrybutów,
$f: UxQ \rightarrow V$ funkcja informacji o stanie samolotu.

Za *atrybuty warunkowe* (współrzędne przestrzeni obserwacji) przyjmowano najczęściej odchylenie od wartości zadanej parametrów lotu, których utrzymanie na przyjętym poziomie w danej fazie lotu jest zadaniem pilota (celem sterowania). Parametrami tymi są w zależności od fazy lotu : H - wysokość lotu, v - prędkość lotu, w - prędkość wznoszenia, Ψ - kurs samolotu, φ - kąt przechylenia, Θ - kąt toru lotu, ϑ - kąt pochylenia, β - kąt ślizgu.

Za *atrybuty decyzyjne* (współrzędne przestrzeni sterowania) uznano te zmienne, którymi pilot realizuje cel sterowania, a więc: δ_H - kąt wychylenia steru wysokości, δ_L - kąt wychylenia lotek, δ_K - kąt wychylenia steru kierunku, δ_S - położenie dźwigni sterowania zespołem napędowym, bądź przyrosty kątów na wymienionych organach sterujących

Dla poszczególnych atrybutów warunkowych dziedziny ustalano w postaci zakodowanych (np. -3,-2,-1,0,1,2,3) przedziałów odchyleń od wartości zadanej uwzględniając obowiązujące normatywy ocen.
Dla atrybutów decyzyjnych posłużono się pojęciami "dodano", "ujęto", " bez zmian", bądź "dodatnie", "ujemne", "zerowe".

Pilot-operator systemu dokonując analizy bieżącej sytuacji ocenia stopień osiągnięcia celu sterowania, a następnie wypracowuje decyzje, które pozwolą ten cel osiągnąć.

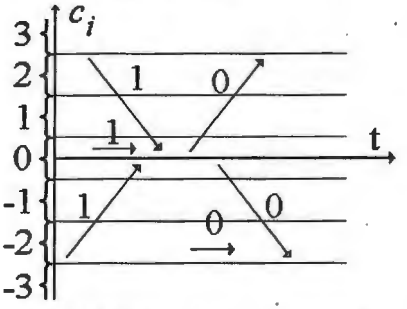
System oceny umiejętności pilotażowych może więc polegać na sprawdzeniu poprawności kwalifikowania bieżącej sytuacji do stanu charakterystycznego z przyporządkowaną mu decyzją sterującą samolotem.

3.2 Metody oceny działań pilota

Zaproponowano cztery metody oceny działań pilota:
1) wg zachowania samolotu (ocena dochodzenia bądź odchodzenia od celu sterowania),
2) wg porównania decyzji pilota z decyzjami eksperta ,
3) wg analizy wartości statystycznych miar jakości sterowania.
4) wg stałości modelu wnioskowania (badanie determinizmu reguł tablicy decyzyjnej).

W metodzie pierwszej ocenia się zachowanie samolotu poddanego działaniom pilota, uznając za poprawne takie działanie, które zbliża samolot do zadanego celu sterowania.

Poprawną ocenę uzyskuje zatem pilot w k-tym kroku dla atrybutu warunkowego c_i tablicy decyzyjnej, wg schematu podanego na Rys.1.



Rys.1. Schemat oceny działania pilota. (1 - poprawne , 0 - niepoprawne)

Na osi c_i ustalono przedziały odchylenia od wartości zadanej danego parametru lotu odpowiadające ocenom:

0 - bdb,
1, -1 - db,
2, -2 - dst,
3,-3 - ndst.

Jako miarę jakości sterowania zmienną c_i przyjęto liczebność klasy (oznaczonej X_i^1) zawierającej te elementy uniwersum, które uzyskały ocenę równą jeden do liczebności uniwersum przyjętego do oceny.

$$J_{c_i} = \frac{card\ X_i^1}{card\ U} \tag{2}$$

Jest to więc stosunek ilości poprawnie podjętych decyzji do ilości wszystkich decyzji podjętych przez pilota sterującego daną zmienną stanu samolotu (parametrem lotu).

W metodzie drugiej przyjęto podejście polegające na sprawdzeniu zgodności jakościowej wychylenia płaszczyzn sterowych przez pilota w danej sytuacji, z decyzją jaka podjęta byłaby przez eksperta. Reguły decyzyjne eksperta ustalane są na drodze wywiadów i dyskusji bądź eksperymentalnie.

Ocenę za poprawność sterowania poszczególnymi zmiennymi wyznaczamy podobnie jak poprzednio z wzoru (2).

Zarówno w metodzie pierwszej jak i w drugiej, dla całego uniwersum przyjętego do oceny, wynik (2) porównany dla wszystkich zadanych parametrów lotu, daje możliwość oceny umiejętności gospodarowania przez pilota dysponowanym zasobem informacyjnym zwanej podzielnością uwagi.

W metodzie trzeciej na podstawie szeregu rozdzielczego (rozkładu empirycznego) przedstawiającego ilość decyzji w poszczególnych przedziałach odchyleń, bądź wartości odchylenia standardowego wnioskować można o dokładności procesu sterowania.

Syntetyczna ocena zadanego parametru lotu jest kombinacją wyników uzyskanych z wymienionych wyżej metod.

W celu powiązania współczynnika (2) wyliczonego według metody pierwszej i metody drugiej z oceną uzyskaną na podstawie rozkładu częstości zaproponowano syntetyczną ocenę za sterowanie zadanym parametrem lotu według zależności:

$$E_{ci} = E_{cisz} + kor \tag{3}$$

gdzie:

E_{ci} - ocena syntetyczna zadanego parametru lotu,

E_{cisz} - ocena według rozkładu częstości,

zaś kor określone jest zależnością:

$$kor = \begin{cases} 0.5 & gdy\ J_{c_i} \geq 0.5 \\ -0.5 & gdy\ J_{c_i} < 0.5 \end{cases} \tag{4}$$

gdzie:

$$J_{c_i} = J^{I}_{c_i} \cdot k1 + J^{II}_{c_i} \cdot k2 \tag{5}$$

$J^{I}_{c_i}$ - współczynnik jakości sterowania według metody pierwszej,

$J^{II}_{c_i}$ - współczynnik jakości sterowania według metody drugiej,

$k1$ - współczynnik wagowy metody pierwszej,

$k2$ - współczynnik wagowy metody drugiej,

przy spełnionym warunku $k1 + k2 = 1$.

Ocenę dla danej fazy lotu wyznaczamy z zależności:

$$E_f = \min_{i=1,..n} [E_{c_i}] \tag{6}$$

gdzie E_{ci} - ocena syntetyczna zadanego parametru lotu

Istotnym elementem wyszkolenia pilota wojskowego jest, poza poprawnym wykonaniem wybranej fazy lotu, uzyskanie wymaganej w warunkach operacyjnych dokładności w chwili końcowej np. osiągnięcie zadanej wysokości, kursu lub toru lotu, zatem uzyskana ocena E musi być skorygowana według zależności:

$$E = \min [E_f, E_k] \tag{7}$$

gdzie: E_f - ocena fazy lotu, E_k - ocena stanu końcowego tej fazy.

Wzór (6) i (7) może również obowiązywać dla oceny całego zadania składającego się z różnych elementów lotu.

Metoda czwarta dokonuje oceny modelu wnioskowania pilota w oparciu o teorię zbiorów przybliżonych [4] i polega ona na badaniu zależności między atrybutami warunkowymi, a decyzyjnymi tablicy decyzyjnej.

Miarą determinizmu (zależności) zbioru atrybutów decyzyjnych D od zbioru atrybutów warunkowych C jest współczynnik

$$k = \gamma_C(D^*) = \frac{card\ Pos_C(D^*)}{card\ U} = \frac{\sum_{i=1}^{n} card(\underline{C}\ D_i)}{card\ U} \qquad (8)$$

gdzie $0 \le k \le 1$

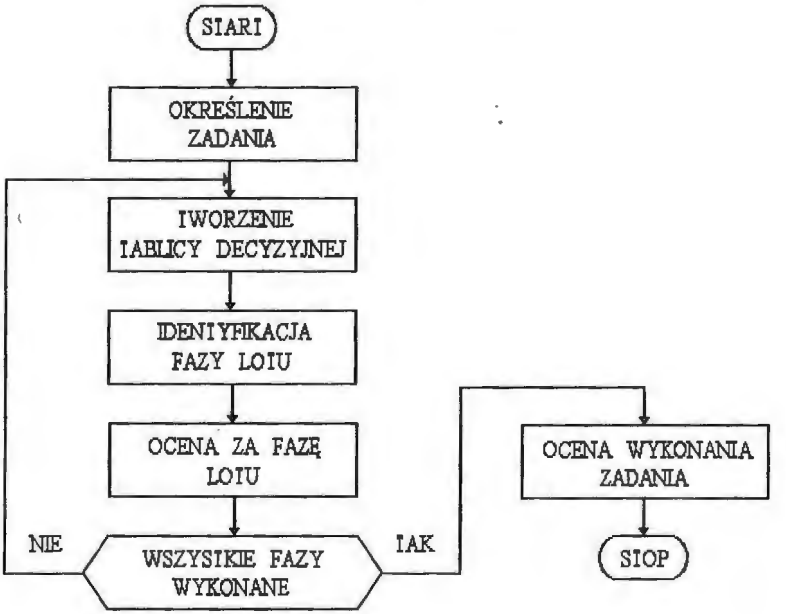
wyrażający stosunek liczby tych elementów uniwersum U, które zostały sklasyfikowane przez operatora do rodziny D^* wszystkich klas abstrakcji relacji nierozróżnialności dla zbioru atrybutów D przy użyciu zbioru atrybutów C, do liczebności uniwersum.

Wartość współczynnika k bliska (równa) jeden, jest miarą dużego determinizmu we wnioskowaniu i podejmowaniu decyzji przez operatora i dowodzi stałości (spójności) modelu wnioskowania (jest miarą wyrobienia nawyków) operatora.
Niska wartość współczynnika k oznacza, że podejmowane przez operatora decyzje mają charakter przypadkowy i nie zależą od wartości atrybutów warunkowych (przy założeniu, że zbiór atrybutów warunkowych jest kompletny).
Metoda ta pozwala również określić wpływ poszczególnych atrybutów warunkowych na podejmowane decyzje.

Ocena ta w powiązaniu z ocenami uzyskanymi z poprzednich metod daje możliwość scharakteryzowania w sposób kompleksowy pilota jako operatora skomplikowanego obiektu jakim jest samolot.

3.3 Struktura ogólna systemu oceny pilota

Ogólna struktura systemu oceny ma postać podaną na Rys.2.



Rys.2. Struktura ogólna systemu oceny pilota

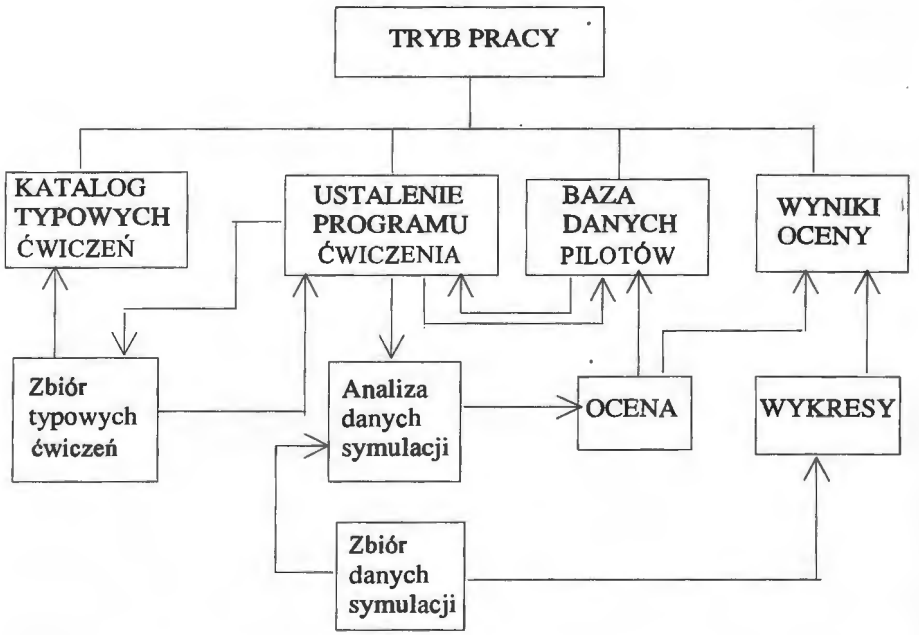
4. REALIZACJA KOMPUTEROWA

Prezentowany System komputerowy został opracowany w języku Borland C++ z wykorzystaniem techniki programowania obiektowego.

Zawiera przyjazny interfejs użytkownika, który pozwala w efektywny sposób korzystać z następujących możliwości systemu:

- konstruowania zadań składających się z poszczególnych faz lotu, bądź posłużenia się Katalogiem typowych ćwiczeń,
- korzystanie z baz danych pilotów i ich dotychczasowych ocen,
- uruchomienia części programu odpowiedzialnego za ocenę wykonanego zadania,
- prezentacji wyników w postaci przyjętej skali ocen z możliwością szczegółowej analizy powstawania oceny za każdą fazę lotu,
- sporządzania wykresów toru lotu w układzie osi XY, XZ, YZ.

Spełniając funkcję pomocniczą w procesie szkolenia pilotów na symulatorze stanowi odrębny system komputerowy pracujący według niżej podanego schematu.



Rys.3. Schemat funkcjonalny systemu

W prezentowanym systemie uwzględniono . również problem identyfikacji poszczególnych faz lotu wchodzących w skład zadania, która w dużej mierze odbywa się w oparciu o sugestie uzyskane od instruktorów-ekspertów.

Poniżej przedstawiono kopie ekranu użytkownika podczas wykonania niektórych opcji programu.

5. PODSUMOWANIE

Komputerowe wspomaganie procesu oceny pilotów pozwoliło uzyskać następujące korzyści:

- jednoznaczne wyciąganie wniosków,
- wszyscy piloci poddani są tym samym kryterium oceny,
- natychmiastowy wynik oceny,
- możliwość oceny tzw. podzielności uwagi,
- odciążenie pracy instruktora,

zaś zastosowane metody oceny działania i wnioskowania pilota umożliwiają dokonanie wnikliwej i kompleksowej oceny operatora w procesie sterowania samolotem.

LITERATURA

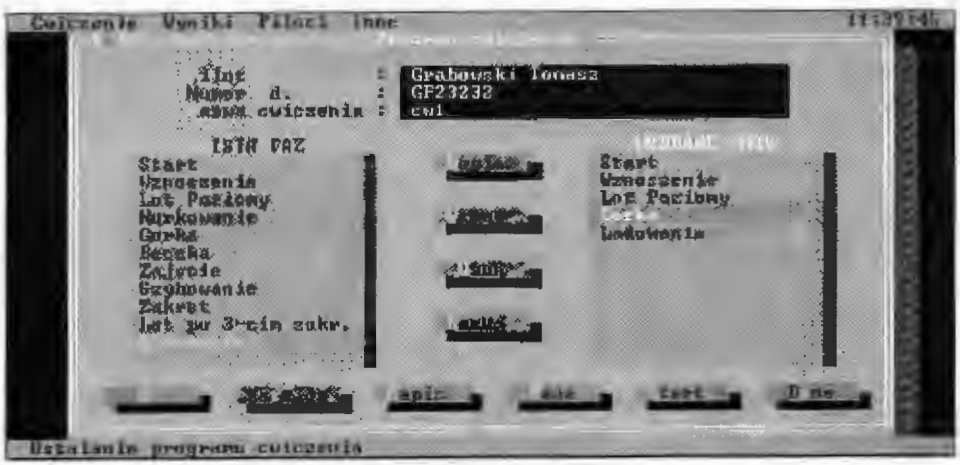
[1] ETKIN B., *Dynamics of Atmospheric Flight,* John Wiley and Sons Inc. New York, 1972.

[2] McRUER D., ASHKENAS I., GRAHAM D., *Aircraft Dynamics and Automatic Control,* Princeton New Yersey,1973.

[3] MRÓZEK A., *Modele wnioskowania operatorów i ich wykorzystanie w komputeryzacji obiektów technologicznych,* Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Gliwice, 1989.

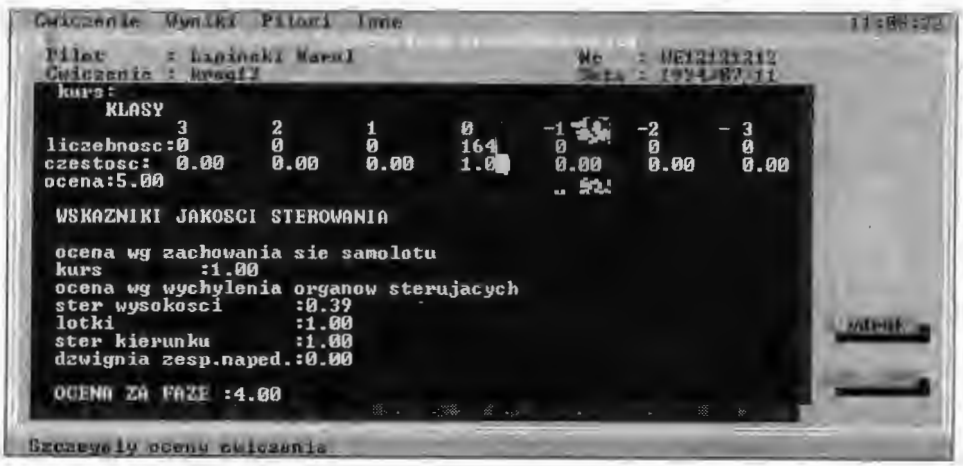
[4] PAWLAK Z, *Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data,* Kluwer Academic Publishers, 1991

[5] SŁOWIŃSKI R. ed., *Intelligent Decision Support. Handbook of Applications and Advances of the Rough*Sets , Kluwer Academic Publishers, 1992.



Rys.4. Opcja ustalania programu ćwiczenia

Rys.5. Fragment okienka z oceną za wykonanie poszczególnych faz lotu i całego ćwiczenia.



Rys. 6. Fragment okienka przedstawiającego szczegóły powstania oceny

ISBN 83-85847-85-5

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy prosimy o kontakt
z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl