

dr inż. Piotr Golański
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

REPREZENTACJA WIEDZY DLA PROBLEMU WYZNACZANIA ZBIORU DECYZJI DOPUSZCZALNYCH W OPTYMALIZACJI KOKPITU SYMULATORA BADAWCZO-KONSTRUKCYJNEGO

W niniejszym artykule zaprezentowano metodę automatycznego tworzenia zbioru dopuszczalnych decyzji w zagadnieniu optymalizacji kokpitu. W metodzie wykorzystano podejście stosowane przy tworzeniu systemu ekspertowego. Zdefiniowano model problemu a następnie określono reprezentację wiedzy dla rozwiązania problemu. Reprezentację wiedzy stanowi zbiór reguł, uruchamianych przez maszynę wnioskującą powłoki systemu ekspertowego CLIPS.

KNOWLEDGE REPRESENTATION FOR THE SET OF ADMISSIBLE DECISIONS DETERMINATION PROBLEM IN COCKPIT OPTIMIZATION FOR THE RESEARCH SIMULATOR

This paper presents the concept of automated method of admissible decisions set determination in cockpit optimization problem. In this method an expert system approach has been applied. After the problem model definition, the knowledge representation for this problem solution has been determined. The knowledge representation is the rules set, fired by the inference engine CLIPS expert system shell.

1. WSTĘP

Symulator badawczo-konstrukcyjny jest eksperymentalnym zestawem sprzętowo-programowym pozwalającym na przeprowadzenie doświadczeń, badających wpływ różnych wariantów rozmieszczenia przyrządów w kokpicie statku powietrznego na efektywność ich obsługi przez pilota w sytuacjach nietypowych i trudnych, określanych mianem zadań krytycznych. Celem doświadczenia jest określenie założeń projektowych na optymalne rozmieszczenie przyrządów w kokpicie samolotu bojowego. Kryterium optymalizacji jest minimalizacja obciążenia pilota dla zadań krytycznych.

Proces poszukiwania optymalnego rozwiązania polega na rozmieszczeniu przyrządów w kokpicie, przeprowadzenie symulacji z udziałem pilota (pilotów), w wyniku której zostaje określone obciążenie pilota dla wybranej konfiguracji przyrządów. W wyniku wielokrotnego powtórzenia powyższych czynności powstaje zbiór wartości obciążeń. Poszukiwanym rozwiązaniem jest takie rozmieszczenie przyrządów, dla którego uzyskano minimalną wartość obciążenia.

Jak wynika z przedstawionego opisu proces poszukiwania optymalnego rozwiązania jest bardzo czasochłonny. Szczególnie duży nakład czasu jest związany z procesem symulacji. Proces ten można usprawnić poprzez uwzględnienie wskazań ergonomii, które eliminują pewne

warianty rozmieszczeń. Dalszym usprawnieniem byłoby zastosowanie systemu doradczego, który w oparciu o dotychczasowe wyniki doświadczeń proponowałby następne, potencjalnie najbardziej korzystne warianty rozmieszczenia do przetestowania w symulatorze badawczo-konstrukcyjnym.

Pierwszym krokiem w realizacji takiego systemu jest stworzenie bazy danych zawierająca zbiór dopuszczalnych wariantów rozmieszczenia, które będą stanowić zbiór dopuszczalnych decyzji [1]. Następnie należałoby zbudować bazę wiedzy zawierającą reguły wyboru następnego wariantu rozmieszczenia przyrządów z utworzonego zbioru możliwych decyzji. W niniejszym artykule zostanie przedstawiona propozycja pierwszej części zaproponowanego rozwiązania polegająca na generacji bazy danych zbioru dopuszczalnych rozwiązań.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Konstrukcję kokpitu statku powietrznego można wyrazić w postaci modelu, składającego się z elementów oprzyrządowania p pozostającymi ze sobą w pewnej relacji R , określającej możliwe warianty ich rozmieszczenia:

$$\mathbf{x} = R(p_1, p_2, \dots, p_m). \quad (1)$$

Przyjmując, że rozmieszczenie przyrządów odbywa się na płaszczyźnie każde rozwiązanie \mathbf{x} jest wektorem:

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n], \quad (2)$$

gdzie elementy x_i są odpowiednimi parami współrzędnych prostokątnych przyrządów p .

Wektor \mathbf{x} jest wektorem zmiennych decyzyjnych i stanowi element zbioru decyzji dopuszczalnych X [1]:

$$\mathbf{x} \in X \subseteq R^n. \quad (3)$$

Na zbiorze decyzji dopuszczalnych jest określone odwzorowanie porządkujące zbiór zwany funkcją celu f [1]:

$$f : X \rightarrow R^1. \quad (4)$$

W przypadku optymalizacji kokpitu funkcją celu będzie obciążenie operatora-pilota O . Celem optymalizacji interfejsu jest znalezienie takiego \mathbf{x} dla którego obciążenie O będzie najmniejsze. Relacja R (1) ma charakter geometryczny, ale można ją sprowadzić do zależności algebraicznej, korzystając z aparatu geometrii analitycznej na płaszczyźnie. Pozwala to, na potraktowanie rozpatrywanego zagadnienia jako optymalizacji statycznej, w której zarówno funkcja celu – obciążenie O , jak i ograniczenia mają postać relacji algebraicznych [1].

Niestety zastosowanie metod optymalizacyjnych podanych w [1] jest w rozpatrywanym przypadku niemożliwe gdyż funkcja celu O powinna być funkcją ciągłą i co najmniej dwukrotnie różniczkowalną względem składowych wektora \mathbf{x} . W przypadku optymalizacji rozmieszczenia przyrządów w kokpicie, funkcja O nie jest określona dla wszystkich wartości współrzędnych wektora \mathbf{x} . W związku z tym znalezienie optymalnego rozwiązania mogłoby być osiągnięte na drodze eksperymentalnego wyznaczenia wartości O dla każdego wariantu rozmieszczenia przyrządów \mathbf{x} .

Proces ten można usprawnić poprzez uwzględnienie wskazań ergonomii, które eliminują pewne warianty rozmieszczeń. Dalszym usprawnieniem byłoby zastosowanie systemu doradczego, który w oparciu o dotychczasowe wyniki doświadczeń proponowałby następne warianty rozmieszczeń do przetestowania w symulatorze badawczo-konstrukcyjnym. Do tego celu niezbędnym jest stworzenie bazy danych zawierającej pełny zbiór dopuszczalnych rozwiązań. Ręczne wyznaczenie takiego zbioru przez człowieka wiąże się z dużą uciążliwością i może okazać się wręcz niemożliwe do wykonania. W celu usprawnienia tego procesu w niniejszym artykule zaproponowano koncepcję automatycznej generacji zbioru rozwiązań opartą na podejściu stosowanym przy tworzeniu systemu ekspertowego.

3. MODEL PROBLEMU

W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione pewne założenia na model kokpitu oraz na model opisu rozmieszczenia przyrządów w kokpicie. Założenia wprowadzają pewne uproszczenia rzeczywistego zagadnienia niezbędne dla jego rozwiązania [6]. Założono, że jest do dyspozycji zbiór przyrządów P :

$$P = \{\mathbf{p}_1 \quad \mathbf{p}_2 \quad \dots \quad \mathbf{p}_n\}. \quad (5)$$

Każdy przyrząd \mathbf{p}_i stanowi wektor stanu o postaci:

$$\mathbf{p}_i = [x \quad y \quad w \quad h]^T, \quad (6)$$

gdzie:

- i – indeks przyrządu,
- x, y – współrzędne prostokątne przyrządu,
- w – rozmiar prostokąta w osi x ,
- h – rozmiar prostokąta w osi y .

Przyrządy są rozmieszczane w skończonym rozłącznym zbiorze obszarów:

$$D = \{\mathbf{d}_1 \quad \mathbf{d}_2 \quad \dots \quad \mathbf{d}_n\}. \quad (7)$$

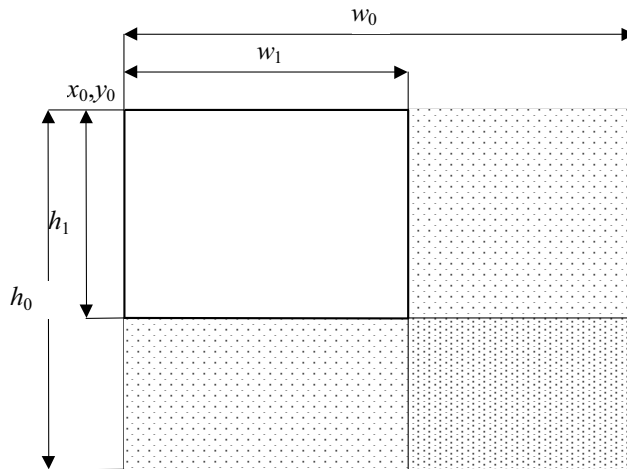
Ponieważ liczność obydwu zbiorów jest równa, to przy założeniu że każdy przyrząd może być wykorzystany tylko raz, maksymalną liczbę rozmieszczeń k można określić wzorem ogólnym [5]:

$$k = n!. \quad (8)$$

Ze względu na ograniczenia wynikające z geometrycznych rozmiarów obszarów i przyrządów wzór (8) określa jedynie maksymalną liczbę rozmieszczenia przyrządów, która w praktyce nie jest osiągnięta. Jednym ze sposobów wygenerowanie poszukiwanego zbioru konfiguracji jest zastosowanie klasycznych algorytmów kombinatorycznych [4]. W niniejszym artykule proponuje się inne podejście, polegające na wykorzystaniu algorytmów przeszukiwania wbudowanych w maszynę wnioskującą powłoki systemów ekspertowych CLIPS. Wymaga to stworzenia określenia modelu problemu w postaci odpowiedniej reprezentacji wiedzy.

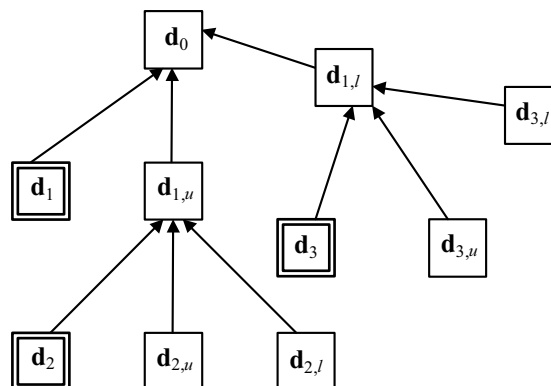
W dalszej części zakładamy, że przyrządy są rozmieszczane w polu prostokątnym \mathbf{d}_0 o wymiarach w_0 i h_0 , zaczynając od umieszczenie pierwszego elementu $\mathbf{p}_1 = [x_1 \quad y_1 \quad w_1 \quad h_1]^T$ w lewym górnym rogu o współrzędnych globalnych x_0 i y_0 . Powoduje to powstanie trzech obszarów prostokątnych \mathbf{d}_1 , \mathbf{d}_l i \mathbf{d}_u (rys.1) o współrzędnych:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{d}_1 &= [x_0 \quad y_0 \quad w_1 \quad h_1]^T \\
 \mathbf{d}_l &= [x_0 + w_1 \quad y_0 \quad w_0 - w_1 \quad h_0]^T, \\
 \mathbf{d}_u &= [x_0 \quad y_0 + h_1 \quad w_0 \quad h_0 - h_1]^T
 \end{aligned}
 \tag{9}$$



Rys. 1. Umieszczenie pierwszego przyrządu

W obszarze \mathbf{d}_1 jest umieszczony przyrząd \mathbf{p}_1 natomiast w obszarach \mathbf{d}_l i \mathbf{d}_u należy umieszczać kolejne przyrządy. Częściowe pokrywanie się obszarów $\mathbf{d}_{l,1}$ i $\mathbf{d}_{u,1}$ powoduje konieczność uwzględnienia sytuacji konfliktowych polegających na nakładaniu przyrządów przy automatycznym ich rozmieszczaniu. W trakcie rozmieszczania powstaje struktura drzewiasta opisująca bieżący stan procesu, określając schemat rozmieszczenia zajętych i wolnych obszarów \mathbf{d} (rys.2):



Rys. 2. Drzewo obszarów

Węzły d_i są węzłami terminalnymi drzewa i nie mają węzłów potomnych. Zawierają dane o współrzędnych obszaru oraz dane przyrządu p_i umieszczonego w tym obszarze. Taka struktura będzie stanowiła jeden z podstawowych elementów przetwarzanych przez reprezentacji wiedzy dla problemu rozmieszczania przyrządów.

4. REPREENATCJA WIEDZY

Reprezentacja wiedzy RW dla problemu rozmieszczania przyrządów została sformułowana na poziomie logicznym [2]:

$$RW = \langle \alpha, F \rangle, \quad (10)$$

gdzie:

α - formuła elementarna,

F - struktura logiczna.

Za pomocą formuł elementarnych zdefiniowany jest zbiór faktów. Zbiór faktów ma charakter dynamiczny i zmienia się w trakcie poszukiwania rozwiązania. Na rys. 3 przedstawiono listę faktów określających stan początkowy procesu przeszukiwania:

```
(defacts MAIN::initial-state
  (status (parent no-parent) (search-depth 1) (solution-num 0)
    (fields-sequence no-parent)
    (x-sequence no-instr)
    (y-sequence no-instr)
    (instruments-sequence no-instr))
  (field (status-parent no-parent)(parent no-parent) (x 0)(y 0)(width 30)(height 30) (instrument no-instr))
  (instrument (name zegar-1) (width 10) (height 10) (attribute unrestricted))
  (instrument (name zegar-2) (width 10) (height 10) (attribute unrestricted))
  (instrument (name przyciski) (width 20) (height 10) (attribute unrestricted))
  (instrument (name lampki) (width 10) (height 20) (attribute unrestricted))
  (instrument (name przelaczniki) (width 30) (height 10) (attribute unrestricted))
  (change-level 4)
)
```

Rys. 3. Początkowy zbiór faktów

W trakcie procesu przeszukiwania będą tworzone nowe fakty określające stan tego procesu (fakt *status*) jak i listę obszarów zajętych i wolnych (fakt *field*). Fakty opisujące przyrządy (fakt *instrument*) nie są modyfikowane.

Fakty są powiązane ze sobą za pomocą struktury logicznej, którą w przyjętym rozwiązaniu tworzą reguły. Główną regułą jest reguła *put-instrument*, która umieszcza przyrząd w dostępnym wolnym obszarze (rys. 2). Na rys. 4. przedstawiono formalny zapis tej reguły w lipsowej notacji CLIPS [3]. Reguła generuje nowe fakty aktualizujące listę obszarów wolnych według zależności (6) oraz aktualizuje opis stanu procesu (*status*). Wyboru przyrządu i odpowiedniego obszaru dokonuje maszyna wnioskująca powłoki systemów ekspertowych CLIPS realizująca strategię przeszukiwania w głąb [3, 6].

Ze względu na pokrywanie się obszarów wolnych (rys.1), umieszczany przyrząd może zostać częściowo nałożony na inny instrument. Taka sytuacja konfliktowa jest rozpoznawana i usuwana przez odpowiednią regułę. Po bezkonfliktowym umieszczeniu wszystkich przyrządów uruchamiana jest reguła *recognize-solution*, która zapisuje rozwiązanie w odpowiednich strukturach danych.

```
(defrule MAIN::put-instrument

  ?fnode <- (field
             (parent ?parent)
             (instrument no-instr)
             (name-of-parent ?parent-iname)
             (x ?fx)
             (y ?fy)
             (width ?fwidth)
             (height ?fheight))

  ?inode <- (instrument
            (name ?iname)
            (width ?iwidth&: (<= ?iwidth ?fwidth))
            (height ?iheight&: (<= ?iheight ?fheight)))

  ?snode<- (status
           (search-depth ?num)
           (solution-num 0)
           (instruments-sequence $?iseq ?end-iname)
           (x-sequence $?xseq)
           (y-sequence $?yseq)
           (fields-sequence $?fseq))
  (test (not (integerp (member$ ?iname (create$ $?iseq ?end-iname))))))
  (test (integerp (member$ ?parent $?fseq)))

  =>

  (duplicate ?snode
            (parent ?snode)
            (search-depth =(+ 1 ?num))
            (instruments-sequence $?iseq ?end-iname ?iname)
            (x-sequence $?xseq ?fx)
            (y-sequence $?yseq ?fy)
            (fields-sequence $?fseq ?fnode))

  (duplicate ?fnode
            (status-parent ?snode)
            (parent ?fnode) (side-of-parent none) (instrument ?iname)
            (name-of-parent this))

  (duplicate ?fnode
            (status-parent ?snode)
            (parent ?fnode)
            (instrument no-instr)
            (side-of-parent right)
            (name-of-parent ?iname)
            (x (+ ?fx ?iwidth))
            (y ?fy)
            (width (- ?fwidth ?iwidth))
            (height ?fheight))

  (duplicate ?fnode
            (status-parent ?snode)
            (parent ?fnode)
            (instrument no-instr)
            (side-of-parent under)
            (name-of-parent ?iname)
            (x ?fx)
            (y (+ ?fy ?iheight))
            (width ?fwidth)
            (height (- ?fheight ?iheight))))
```

Rys. 4. Reguła umieszczająca przyrząd w wolnym obszarze

5. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule zaprezentowano metodę automatycznego tworzenia zbioru dopuszczalnych decyzji w zagadnieniu optymalizacji kokpitu. W metodzie wykorzystano podejście stosowane przy tworzeniu systemu ekspertowego. Zdefiniowano model problemu a następnie określono reprezentację wiedzy dla rozwiązania problemu. Reprezentację wiedzy stanowi zbiór reguł, uruchamianych przez maszynę wnioskującą powłoki systemu ekspertowego CLIPS.

Z punktu widzenia sposobu sformalizowania rozwiązania problemu zaprezentowane podejście jest bardzo efektywne. Wymaga określenia 5 reguł, które pozwalają na znalezienie wszystkich rozwiązań. Znacznie mniej efektywny jest sam proces poszukiwania. Rozmieszczenia 5 przyrządów wymagało uruchomieniem 12 tys. reguł. Z punktu widzenia prezentowanego problemu nie jest to istotna wada. Wyznaczenie zbioru decyzji dopuszczalnych jest wykonywane jednorazowo dla danego zestawu przyrządów i stanowi początkowy etap w procesie optymalizacji. W tym przypadku istotne jest jedynie wygenerowanie pełnej przestrzeni rozwiązań dla właściwego etapu optymalizacji.

LITERATURA

- [1] Awrejcewicz J. *Matematyczne modelowanie systemów*. WNT, Warszawa 2007.
- [2] Bubnicki Z.: *Wstęp do systemów ekspertowych*, PWN, Warszawa 1990.
- [3] Giarratano J.C.: *CLIPS – User’s Guide*, 2002.
- [4] Knuth D.E.: *Sztuka programowania. Generowanie wszystkich krotek i permutacji*, Tom 4, Zeszyt 2, WNT 2007.
- [5] Libura M., Sikorski J. *Wykłady z matematyki dyskretnej, Cz.I: Kombinatoryka*, Wydawnictwo WIT, Warszawa 2005.
- [6] Michalewicz Z., Fogel D. B. *Jak to rozwiązać czyli nowoczesna heurystyka*. WNT, Warszawa 2006.