Tadeusz Cisowski [1), Łukasz Wojciechowski [2)

SYNTEZA MODELI I ALGORYTMÓW IDENTYFIKACJI SYTUACJI W ZARZĄDZANIU POTOKAMI TRANSPORTOWYMI

Streszczenie. W niniejszej pracy dokonano syntezy modeli i algorytmów identyfikacji sytuacji przy ortogonalnej strukturze reguł decyzyjnych w symulacyjnym zarządzaniu potokami transportowymi na kolei. Sformułowano i udowodniono warunek konieczny i dostateczny identyfikacji sytuacji decyzyjnych. Podano przykład planowania kompleksowej regulacji wagonów.
Słowa kluczowe: synteza modeli, potoki transportowe, reguły decyzyjne

WSTĘP

Złożoność budowy symulacyjnych modeli wspomagania decyzji w transporcie kolejowym leży w syntezie algorytmu identyfikacji sytuacji, pojawiających się w procesie zarządzania potokami transportowymi.

Syntezę tą można znacznie uprościć, jeżeli uwzględnimy specyfikę zarządzania operatywnego w transporcie. Zarządzanie operatywne w transporcie ma miejsce w sytuacjach niewypełnienia wskaźników eksploatacyjnych. Decydent porównuje wtedy aktualne wskaźniki z normami i podejmuje odpowiednią decyzję $\gamma_l (l = \overline{1,m})$; *m*- liczba decyzji możliwych w danej sytuacji. W procesie zarządzania decydent jednocześnie kontroluje nie więcej niż 2-3 wskaźniki eksploatacyjne. Jeżeli należy uwzględnić więcej wskaźników, proces zarządzania obejmuje dwa etapy:

1. Decydent analizuje kolejno każdy wskaźnik i porównuje go z normą, tj. odnosi każdy wskaźnik do określonego przedziału na osi liczbowej.
2. Decydent podejmuje decyzje ostateczną w zależności od kombinacji przedziałów wskaźników eksploatacyjnych.

W celu identyfikacji sytuacji pojawiających się w procesie zarządzania potokami transportowymi wygodnie jest podzielić przestrzeń atrybutów hiperpłaszczyznami, ortogonalnymi osiami współrzędnych [3].

1) Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie.
2) Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Politechnika Lubelska.

SFORMUŁOWANIE MATEMATYCZNYE PROBLEMU

Wskaźniki eksploatacyjne na kolei $X_i(t)$ w dowolnej chwili t są ograniczone i zawierają się w przedziale $0 < X_i(t) \le a_i$, gdzie: $i = \overline{1,n}$, n- liczba wskaźników eksploatacyjnych.

Decydent ma do dyspozycji m decyzji $\gamma_l (l = \overline{1,m})$, zaś zbiór punktów w n-wymiarowej przestrzeni wskaźników eksploatacyjnych, któremu odpowiada ta sama decyzja γ_l, tworzy sytuację S_l.

Załóżmy, że istnieją graniczne wartości $X_i^{k(i)} (i = \overline{1,n}, k(i) = \overline{1,k}, X_i^{k(i)} = C_i)$ każdego wskaźnika X_i, które różnicują sytuacje, przy czym k_i- liczba przedziałów otwartych i-tego wskaźnika.

Przy zadanych wartościach $X_i^{k(i)}$ dziedzinę możliwych wartości wektora $X(t) = [X_1(t),..., X_n(t)]$ można podzielić na $K(K = \prod_{i=1}^{n} k_i)$ nieprzecinających się dziedzin elementarnych, określonych układem nierówności typu $X_i^{k(i)-1} < X_i \le X_i^{k(i)} (X_i^0 = 0)$.

Zbiór punktów $X = (X_1 X_2,..., X_n)$, których współrzędne spełniają nierówności:

$a, < X_1 \le b_1$, $a_2 < X_2 \le b_2,..., a_n < X_n \le b_n$ nazywa się równoległobokiem przestrzennym i zapisuje się następująco: $[a_1, b_1, a_2 b_2; ... a_n b_n]$. Tak więc, równoległobok przestrzenny $[0, C_1; 0, C_2; ...; 0, C_n]$, zawierający dowolny wektor $X(t)$ dzieli się na K „elementarnych" równoległoboków $[X_1^{k(1)-1}, X_1^{k(1)}; X_2^{k(2)-1}, X_2^{k(2)}; ...; X_n^{k(n)-1}, X_n^{k(n)}]$.

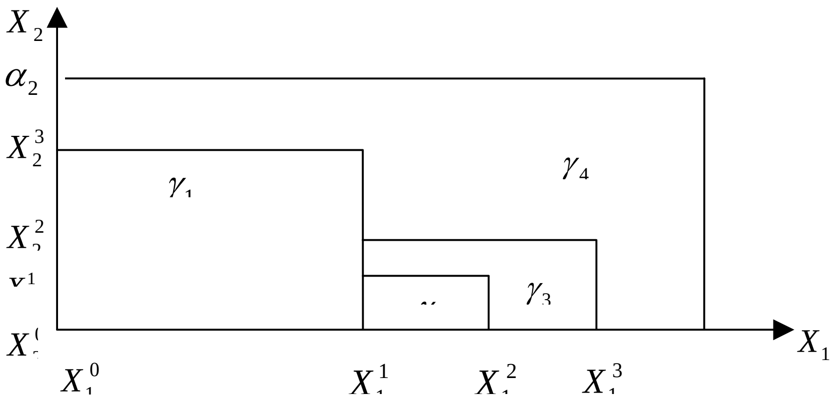
W ten sposób poszukiwane sytuacje $S_l (l = \overline{1,m})$ można przedstawić jako połączenie odpowiednich równoległoboków przestrzennych.

Praktyka pokazuje, że reguły decyzyjne sformułowane na bazie procedury wyżej przedstawionej charakteryzują się strukturą złożoną.

Na rysunku 1 przedstawiono cztery obszary, którym odpowiadają cztery decyzje. Do identyfikacji sytuacji określonej wektorem $X(t) = \{X_1(t), X_2(t),..., X_n(t)\}$ dostateczna jest znajomość przedziału otwartego, w którym zawiera się każdy wskaźnik $X_i(t) : X_i^{k(i)-1} < X_i(t) \le X_i(t) \le X_i^{k(i)}$.

Reguły decyzyjne dla można zapisać za pomocą następującego układu nierówności:

$$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l} X_1^0 < X_1(t) \le X_1^1 \\ X_2^0 < X_2(t) \le X_2^1 \end{array}\right\} \\ \left.\begin{array}{l} X_1^0 < X_1(t) \le X_1^1 \\ X_2^1 < X_2(t) \le X_2^2 \end{array}\right\} \\ \left.\begin{array}{l} X_1^0 < X_1(t) \le X_1^1 \\ X_2^2 < X_2(t) \le X_2^3 \end{array}\right\} \end{array}\right\} \to \gamma_1 \qquad \left.\begin{array}{l} X_1^1 < X_1(t) \le X_1^2 \\ X_2^0 < X_2(t) \le X_2^1 \end{array}\right\} \to \gamma_2$$



Rys. 1. Interpretacja geometryczna reguł decyzyjnych
Fig. 1. Geometric interpretation of decision rules

Dowolna para nierówności określa prostokąt w przestrzeni atrybutów. Tak więc każda sytuacja składa się ze zbioru podsytuacji, określonego prostokątami.

Strukturę reguł decyzyjnych można również przedstawić w postaci tabeli decyzji [2], w której na miejscu $X_i^{k(i)}$ wpisuje się atrybut jakości: 1, jeżeli
$X_i^{(t)} \le X_i^{(i)}$
i 0 – w przypadku przeciwnym /patrz tab.1/.

Przedstawiony poniżej algorytm „punktów informacyjnych” znacznie ogranicza wielkość pamięci komputera i prezentuje strukturę reguł decyzyjnych w formie bardziej zrozumiałej dla decydenta. Jego idea polega na porównaniu wektora $X(t)$ z n-wymiarowymi punktami $X^k = \left\{X_1^{k(1)}, X_2^{k(2)},..., X_n^{k(n)}\right\}$, gdzie $K(i) = \overline{1,\cdot k_i}$; $K = \overline{1;\prod_{i=1}^{n} k_i}$, które dalej nazywane będą punktami informacyjnymi. Jedna współrzędna $X_i^{k(i)}$ punktu informacyjnego X^k określa reguły decyzyjną wyrażoną częścią hiperpłaszczyzny $X_i = X_i^{k(i)}$, przy czym:

$$\left\{0 < X_1 \le X_1^{k(1)},...,0 < X_{i-1} \le X_{i-1}^{k(i-1)}, 0 < X_{i+1} \le X_{i+1}^{k(i+1)},...,0 < X_n \le X_n^{k(n)}\right\}.$$

Tabela 1. Tabela decyzji
Table 1. Decision table

$\{\gamma$	$\{S$	Atrybuty informacyjne $\{X\}$					
		$X_1 \le X_1^1$	$X_1 \le X_1^2$	$X_1 \le X_1^3$	$X_2 \le X_2^1$	$X_2 \le X_2^2$	$X_2 \le X_2^3$
γ_1	S_1	1	1	1	1	1	1
		1	1	1	0	1	1
		1	1	1	0	0	1
γ_2	S_2	0	1	1	1	1	1
γ_3	S_3	0	1	1	0	1	1
		0	0	1	0	1	1
		0	0	1	1	1	1
γ_4	S_4	1	1	1	0	0	0
		0	1	1	0	0	0
		0	0	1	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	1	1	0	0	1
		0	0	1	0	0	1
		0	0	0	0	0	1
		0	0	0	0	1	1
		0	0	0	1	1	1

Zbudujmy algorytm, wykorzystując logikę orzeczników [4]. Załóżmy, że orzecznik własny punktu informacyjnego X^k spełnia warunek:

$$P(X, X^k) = 1 \Leftrightarrow \forall_i (i = \overline{1,n})\ X_i(t) \le X_i^{k(i)};$$
$$P(X, X^k) = 0 \Leftrightarrow \exists_i (i = \overline{1,n})\ X_i(t) > X_i^{k(i)}.$$

Dla każdej sytuacji $S_l = (l = \overline{1,n})$, określamy z orzeczników własnych $P(X, X^k)$ orzecznik ogólny $F_l = (X)$, który jest prawdziwy wtedy i tylko wtedy, kiedy $X(t)$ znajduje się w sytuacji S_l.

Pokażmy ideę budowy algorytmu identyfikacji sytuacji na przykładzie, w którym punktami informacyjnymi są:

$$X^1 = (X_1^1, X_2^3), X^2 = (X_1^2, X_2^1), X^3 = (X_1^3, X_2^2).$$

Oznaczniki własne pokazano w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości orzeczników własnych
Table 2. Values of self–predicates

$\{\gamma\}$	$\{S\}$	Punkty informacyjne $\{X^k\}$		
		$\{X^1\}$	$\{X^2\}$	$\{X^3\}$
γ_1	S_1	1		
γ_2	S_2	0	1	
γ_3	S_3	0	0	1
γ_4	S_4	0	0	0

W tabeli 2 w odpowiednich miejscach, w zależności od tego do jakiej sytuacji należy $X(t)$, podano wartości orzeczników własnych $P(X, X^k)$. Miejsce puste oznacza, że odpowiedni orzecznik może przyjmować wartości dowolne.

Orzeczniki ogólne, realizujące algorytmy identyfikacji sytuacji mają postać:

$$F_1(X) = P(X, X^1); F_2(X)\Gamma P(X, X^1)\alpha P(X, X^2);$$

$$F_3(X) = \Gamma P(X, X^1)\alpha; \Gamma P(X, X^2)\alpha P(X, X^3);$$

$$F_4(X) = \Gamma P(X, X^1)\alpha; \Gamma P(X, X^2)\alpha P(X, X^3) = \Gamma(F_1(X) \vee F_2(X) \vee F_3(X)).$$

Wektor $X(t)$ należy do sytuacji S_l i wymaga decyzji γ_l wtedy i tylko wtedy, kiedy prawdziwy jest orzecznik $F_l(X(t))$.

Z powyższego przykładu wynika, że ważnym pierwszym etapem budowy algorytmu identyfikacji sytuacji jest wybór zbioru punktów informacyjnych, niezbędnych do identyfikacji.

W celu określenia tego zbioru, sytuacje przedstawimy w postaci układu nierówności. W ogólnym przypadku, dla każdej podsytuacji zadanej *n*-nierównościami, określającymi *n*-wymiarowy równoległobok w przestrzeni orzeczników, orzecznik własny można zapisać następująco:

$$Q(X, X_1^{k(1)}, X_2^{k(2)}, ..., X_n^{k(n)}) \overset{Df}{=} (X_1^{k(1)-1} < X_1 \le X_1^{k(1)})\alpha...\alpha$$

$$(X_i^{k(i)-1} < X_i \le X_i^{k(i)})\alpha...\alpha(X_n^{k(n)-1} < X_n \le X_n^{k(n)}) =$$

$$= P(X_1^{k(1)}, ..., X_i^{k(i)}, ..., X_n^{k(n)})\alpha\Gamma P(X_1^{k(1)-1}, ..., X_2^{k(2)}, ..., X_i^{k(i)}, ..., X_n^{k(n)})\alpha...\alpha$$

$$\Gamma P(X_1^{k(1)}, ..., X_{i-1}^{k(i-1)}, X_i^{k(i)-1}, X_{i+1}^{k(i+1)}, ..., X_n^{k(n)})\alpha...\alpha\Gamma P(X_1^{k(1)}, ..., X_{n-1}^{k(n-1)}, X_n^{k(n)-1}).$$

Określając orzeczniki własne każdej podsytuacji wyznaczymy zbiór punktów informacyjnych. Zbiór ten jest zbyt liczny i do identyfikacji sytuacji należy wybrać z niego minimalną, dostateczną liczbę punktów.

Tak więc, zadanie sprowadza się do określenia minimalnego zbioru *n*-wymiarowych punktów informacyjnych X^k, dostatecznego do budowy orzeczników $F_l = (l = \overline{1,m})$ na bazie orzeczników własnych $P(X, X^k)$. Jedna współrzędna $X_i^{k(i)}$ punktu informacyjnego X^k określa decyzję przedstawiającą część hiperpłaszczyzny $X_i = X_i^{k(i)}$ ograniczoną następująco:

$0 < X_j < X_j^{k(j)}, j \neq i, j = \overline{1,n}$.

Decyzja wyrażona punktem informacyjnym X^k stanowi odcinek granicy pomiędzy sytuacjami, określony współrzędną X_i^r i warunkami:

$X^0 < X_j < X_j^r \, (j \neq i),$ wtedy i tylko wtedy, kiedy $X_i^{k(i)} = X_i^r$ i $X_j^{k(j)} \geq X_j^r$

Prawdziwe jest następujące twierdzenie 1.

Twierdzenie

Do identyfikacji sytuacji koniecznym i dostatecznym jest to, aby zbiór reguł decyzyjnych, zbudowany na wybranym zbiorze punktów informacyjnych, pokrywał wszystkie odcinki granicy pomiędzy wszystkimi sytuacjami.

Dowód, warunek konieczny

Załóżmy, że cała granica pomiędzy sytuacjami poryta jest stałym zbiorem punktów informacyjnych. Jeżeli współrzędne punktów informacyjnych wynoszą $X_i^{k(i)}$, to istnieje taki odcinek granicy, po obu stronach którego leżą co najmniej dwa elementarne równoległoboki przestrzenne $[a_1^1, b_1^1, ..., a_n^1, b_n^1], [a_1^2, b_1^2, ..., a_n^2, b_n^2]$, należące do różnych dwóch sytuacji S_l i S_m oraz nie zawierające żadnego punktu informacyjnego ze stałego zbioru punktów informacyjnych.

Wtedy żaden z orzeczników $P(X, X^k)$, zbudowanych na bazie tego zbioru nie będzie rozdzielać tych dwóch równoległoboków, tj. nie istnieje orzecznik $P(X, X^k)$, który spełnia warunek:

$P(X, X^k) = 1 (\text{lub } 0), \text{jeżeli } X \in [a_1^1, b_1^1, ..., a_n^1, b_n^1]$;

$P(X, X^k) = 0 (\text{lub } 1), \text{jeżeli } X \in [a_1^2, b_1^2, ..., a_n^2, b_n^2]$.

Tak więc, z danego zbioru orzeczników $\{P(X, X^k)\}$ nie można zbudować, za pomocą operacji logicznych, orzeczników $F_l(X)$ i $F_m(X)$, czego należało dowieść.

Dowód, warunek dostateczny

1) Należy dowieść, że dla dwóch dowolnych elementarnych równoległoboków przestrzennych $A = [a_1^1, b_1^1, ..., a_n^1, b_n^1]$ i $B = [a_1^2, b_1^2, ..., a_n^2, b_n^2]$, należących do różnych sytuacji, istnieje co najmniej jeden punkt informacyjny X^k, należący do zbioru punktów pokrywających granice pomiędzy wszystkimi

sytuacjami, rozdzielający te równoległoboki. Przyjmijmy sytuację odwrotną, tj. istnieją dwa elementarne równoległoboki A i B, należące do różnych sytuacji, które nie posiadają rozdzielającego punktu informacyjnego. Jeżeli A i B są elementarnymi równoległobokami przestrzennymi, to można przyjąć, że:

a) $a_i^1 \geq b_i^2$, $i = \overline{1, v}$;

b) $a_i^1 \leq a_i^2$, $i = \overline{1 + v; w}$;

c) $b_i^1 = b_i^2 \Leftrightarrow a_i^1 = a_i^2$, $i = \overline{w + 1; n}$;

gdzie: $v, w = \overline{1, v}$, $w \geq v$.

Współrzędne dowolnego punktu informacyjnego z danego zbioru nie mogą spełniać warunków:

$a_i^1 \geq X_i^k, X_j^k \geq b_j^2, j, j \neq i, j = \overline{1, n}$ gdzie: $i = \overline{1, v}$; (1)

$b_i^1 \leq x_i^k \leq a_i^2, x_j^k \geq b_j^1$ dla wszystkich $j, j \neq i, j = \overline{1, n}$, gdzie $i = \overline{v + 1; w}$. (2)

Jeżeli punkt informacyjny X^k spełnia warunek (1) to on rozdziela równoległoboki A i B i tym samym przeczy założeniu. Następnie, połączymy odcinkiem dwa punkty $(b_1^2,...,b_n^2)$ i $(a_1^1, b_2^2,...,b_n^2)$. Aby zapobiec sprzeczności z warunkiem (1) odcinek ten nie będzie przecinał żadnej reguły decyzyjnej, określonej zadanym zbiorem punktów informacyjnych. Analogicznie, żadna reguła decyzyjna nie będzie przecinać odcinka łączącego punkty $(a_1^1, b_2^2,...,b_n^2)$ i $(a_1^1, a_2^1, b_3^2, b_4^2 ..., b_n^2)$; $(a_1^1 \geq b_1^2, a_2^1 \geq b_2^2)$ itd.

W ten sposób można zbudować łamaną, łączącą punkty $(b_1^2 b_2^2,..., b_n^2)$, $(a_1^1,...a_v^1, b_{v+1}^2,..., b_n^2)$.

Tak więc uwzględniając warunek (1) można zbudować łamaną łączącą punkty $(b_1^2,...,b_n^2)$, $(a_1^1,...a_v^1, b_{v+1}^2,...,b_n^2)$, która nie przecina żadnej reguły decyzyjnej. Podobnie można zbudować łamaną, przechodzącą przez punkty $(b_1^1,...,b_n^1)$, $(b_1^1,...,b_v^1, a_{v+1}^2,..., a_w^{\ 2}, b_{w+1}^1,...,b_n^1)$, która również nie przecina żadnej reguły decyzyjnej, zadanej danym zbiorem punktów informacyjnych.

Przez punkty $(a_1^1,...a_v^1, b_{v+1}^2,...,b_n^2)$ i $(b_1^1,...,b_v^1, a_{v+1}^2,..., a_w^{\ 2}, b_{w+1}^1,...,b_n^1)$ uwzględniając znak nierówności w warunkach (1) i (2), też nie przechodzi żadna reguła decyzyjna. Łącząc te punkty widzimy, że należą ode do granicy jednego elementarnego równoległoboku przestrzennego. Dlatego też, żadna reguła decyzyjna nie może przecinać tej granicy. Wynika z tego, że dwa punkty $(b_1^1,...,b_n^1)$ i $(b_1^2,...,b_n^2)$ należące do równoległoboków przestrzennych A oraz B można połączyć linią, której nie przecina żadna reguła decyzyjna.

Z drugiej jednak strony, linia łącząca punkty należące do różnych sytuacji, co najmniej jeden raz przecina granicę pomiędzy sytuacjami i tym samym przecina regułę decyzyjną, pokrywającą tę granicę. Dana sprzeczność dowodzi twierdzenie.

2) Aby dowieść warunek dostateczny należy zbudować orzecznik $F_l\ (x)$, $(l=\overline{1;m})$. Niech Π_α będzie elementarnym równoległobokiem przestrzennym $(\alpha=\overline{1;k})$, $N(l)$ - zbiorem numerów równoległoboków elementarnych, należących do sytuacji $S_l, N(l)=\{\alpha:\Pi_\alpha < S_;\}$.

Analogicznie $\overline{N(l)}=\{\beta:\Pi_\beta \not\subset S_l\}$.

Określimy orzecznik $Q_{\alpha,\beta}(X,X^k)$:

$$Q_{\alpha,\beta}(X,X^k)=\begin{cases} P(X,X^K) & \text{jeżeli } P(X,X^K)=1 \text{ przy } X\in\Pi_\alpha \\ \Gamma P(X,X^K) & \phantom{\text{jeżeli }} P(X,X^K)=1 \phantom{\text{ przy }} X\in\Pi_\beta \end{cases};$$

gdzie: $\alpha\in N(l), \beta\in\overline{N(l)}$; X^k - dowolny punkt informacyjny, rozdzielający Π_α i Π_β. Wtedy $F_l\ (x)=\bigcup_{\alpha\in N(l)}(\bigcap_{\beta\in\overline{N(l)}} Q_{\alpha,\beta}(X,X^k)$ i tego należało dowieść.

Z warunku $x_i(t)>0$:

dla $\forall t$ wynika, że $P(X_1^{j(1)},...,X_{i-1}^{j(i)-1},0,X_{i+1}^{j(i)+1},...,X_n^{j(n)})=0$ (fałsz) $i=\overline{1,n}$. Wtedy dla dowolnego orzecznika T spełnione jest:

$T\alpha\Gamma P(X_1^{j(1)},...,0,...,X_n^{j(n)})=T$.

Z powyższego otrzymujemy, że punkty informacyjne typu $X=(X_1^{j(1)},...,X_{i-1}^{j(i)-1},0,X_{i+1}^{j(i)+1},...,X_n^{j(n)})$ należy odrzucić. Do identyfikacji sytuacji koniecznym i dostatecznym jest to, aby zbiór reguł decyzyjnych zadany wybranym zbiorem punktów informacyjnych pokrywał wszystkie odcinki granicy pomiędzy sytuacjami.

Dlatego też powstaje zadanie wyboru najmniejszej liczby punktów informacyjnych pokrywających granicę pomiędzy sytuacjami.

Jeżeli istnieją dwa punkty informacyjne X^1,X^2 i $(X_i^1=X_i^2)\alpha(X_m^1\le X_m^2)$ gdzie: $m=\overline{1,n}$ i $m\ne i$, to reguła decyzyjna określana i-tą współrzędną punktu X^2 pokrywa regułę decyzyjną określaną i-tą współrzędną punktu X^1. Takie współrzędne nazywać będziemy nieistotnymi lub pokrytymi współrzędnymi.

Jeżeli dany punkt posiada wszystkie współrzędne pokryte to można go wyeliminować z analizy.

Rozważmy przykład pokazany w tabeli 3, dotyczący decyzji związanych z planem kompleksowej regulacji wagonów.

Liczba wagonów zdawanych określana jest wzorem:

$U_{zd}^{kom}=U_z^w+U_{zd}^P$ gdzie $U_z^w=X_2(t)$- liczba wagonów załadowanych w komunikacji wywozu; $U_{zd}^P=X_3(t)$- liczba wagonów próżnych z własnego wyładunku.

Liczba U_{zd}^{kom} może się zmieniać od 0 do $X_1^{\max}$. Jeżeli $X^1<X_1(t)\le X_1^2$ to U_{zd}^{kom} znajduje się w granicach normy.

Analogicznie $0 < X_2(t) \leq X_2^{\max}$ i $0 < X_3(t) \leq X_3^{\max}$.

Jeżeli $X_2^1 < X_2(t) \leq X_2^2$ i $X_3^1 < X_3(t) \leq X_3^2$, to X_2 i X_3 są w normie.

Tabela 3. Decyzje związane z kompleksową regulacją wagonów
Table 3. Decisions connected with a complex regulation of railway cars

$\{\gamma\}$						$\{S\}$	Atrybuty informacyjne $\{X\}$		
Załadunek na wywóz			Zdanie próżnych z własnego wyładunku				X_1	X_2	X_3
Zwię-kszyć	Zmniej-szyć	Bez zmian	Zwię-kszyć	Zmniej-szyć	Bez zmian		$X_1^1 < X_1(t) \leq X_1^2$	$X_2^1 < X_2(t) \leq X_2^2$	$X_3^1 < X_3(t) \leq X_3^2$
1			1			S_1	0	0	0
1						S_2	0	0	1
1							0	0	-1
			1			S_3	0	1	0
			1				0	-1	0
		1			1	S_4	1	0	1
		1			1		1	1	0
		1			1		1	1	1
		1			1		1	1	-1
		1			1		1	-1	1
		1			1		-1	0	1
		1			1		-1	1	0
		1			1		-1	-1	-1
						S_5	0	1	1
							0	1	-1
							0	-1	1
							0	-1	-1
							1	0	0
							1	0	-1
							1	-1	0
							1	-1	-1
							-1	0	0
							-1	0	-1
							-1	1	1
							-1	1	-1
							-1	-1	0
							-1	-1	1

W tabeli 3, w kolumnie odpowiadającej decyzji, po zmianie wskaźnika eksploatacyjnego wpisuje się 1, jeżeli w danej sytuacji należy zmienić ten wskaźnik i nie wpisuje się nic, jeżeli ten wskaźnik pozostaje bez zmian. Zamieszczone w tabeli 3 atrybuty informacyjne $X_i (i = 1,2,3)$ przyjmują następujące wartości:

$X_i = -1$ jeżeli $X_i(t) > X_i^2$;

$X_i = 1$ jeżeli $X_i^1 < X_i(t) \le X_i^2$;

$X_i = 0$ jeżeli $X_i(t) \le X_i^1$.

Sytuacja S_5 jest niemożliwą w działalności eksploatacyjnej, dlatego też algorytm identyfikacji budowany jest tylko dla sytuacji S_1, S_2, S_3, S_4.

W celu określenia punktów informacyjnych sytuacje opisane są za pomocą następujących nierówności:

$$S_1 \to \left\{\begin{matrix} 0 < X_1(t) \le X_1^1 \\ 0 < X_2(t) \le X_2^1 \\ 0 < X_3(t) \le X_3^1 \end{matrix}\right\} \to Q_1 = P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^1) \to X^1 = (X_1^1, X_2^1, X_3^1);$$

$$S_2 = \begin{cases} \left.\begin{matrix} 0 < X_2(t) \le X_1^1 \\ 0 < X_2(t) \le X_2^1 \\ X_3^1 < X_3(t) \le X_3^2 \end{matrix}\right\} \to Q_2 = P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^1)\alpha\Gamma P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^1) \to X^2 = (X_1^1, X_2^1, X_3^1) \\ \left.\begin{matrix} 0 < X_2(t) \le X \\ 0 < X_2(t) \le X_2^1 \\ X_3^2 < X_3(t) \le X_3^{\max} \end{matrix}\right\} \to Q_3 = P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^{\max})\alpha\Gamma P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^2) \to X^3 = (X_1^1, X_2^1, X_3^{\max}); \end{cases}$$

$$S_3 = \begin{cases} \left.\begin{matrix} 0 < X_2(t) \le X_1^1 \\ 0 < X_2(t) \le X_2^1 \\ X_3^1 < X_3(t) \le X_3^2 \end{matrix}\right\} \to Q_4 = P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^1)\alpha\Gamma P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^1) \to X^4 = (X_1^1, X_2^2, X_3^1) \\ \left.\begin{matrix} 0 < X_2(t) \le X \\ X_2^2 < X_2(t) \le X_2^{\max} \\ 0 < X_3(t) \le X_3^1 \end{matrix}\right\} \to Q_5 = P(X, X_1^1, X_2^{\max}, X_3^1)\alpha\Gamma P(X, X_1^1, X_2^1, X_3^2) \to X^5 = (X_1^1, X_2^{\max}, X_3^1); \end{cases}$$

$$S_4 \Gamma (S_1 \cup S_2 \cup S_3).$$

Z analizy punktów informacyjnych X^2 i X^3 wynika, że punkt X^3 w pełni definiuje sytuację S_2, ponieważ $P(X, X^3) = 1$ w dowolnym punkcie przestrzeni atrybutów, określających S_2. Dlatego też przestrzeń atrybutów, w której $P(X, X^2) = 1$ jest przestrzenią pokrytą $(P(X, X^3) = 1)$ i punkt X^2 można wykluczyć z analizy. Podobnie, analizując punkty X^4 i X^5 można wykluczyć

punkt X^4. Ostatecznie, minimalną liczbę punktów informacyjnych można określić porównując odpowiednie współrzędne następujących trzech punktów:

$X^1 = (X_1^1, X_2^1, X_3^1)$; $X^3 = (X_1^1, X_2^1, X_3^{\max})$; $X^5 = (X_1^1, X_2^{\max}, X_3^1)$.

Nietrudno zauważyć, że współrzędne punktu X^1 są pokrytymi odpowiednimi współrzędnymi punktów X^3 i X^5. Stąd wynika, że punkty X^3 i

X^5 stanowią zbiór minimalnych punktów informacyjnych, zaś orzeczniki własne można przedstawić w postaci tabeli 4.

Tabela 4. Wartości orzeczników własnych
Table 4. Values of self–predicates

$\{\gamma\}$						$\{S\}$		
Załadunek na wywóz			Zdanie próżnych z własnego wyładunku					
Zwię-kszyć	Zmniej-szyć	Bez zmian	Zwię-kszyć	Zmniej-szyć	Bez zmian		$P(X, X^3)$	$P(X, X^5)$
1			1			S_1	1	1
1						S_2	1	0
			1			S_3	0	1
		1			1	S_4	0	0

Niech $X_1^1 = 3200$, $X_2^1 = 1200$, $X_3^1 = 2000$ wagonów na dobę i $X_1(t) = 3000$, $X_2(t) = 900$,

$X_3 = 2100$ wagonów na dobę. Ponieważ $X_1(t) \le X_1^1, X_2(t) \le X_2^1$, $X_3(t) \le X_3^{\max}$ to $P(X, X^3) = 1$. Analogicznie $P(X, X^5) = 0$, ponieważ $X_1(t) \le X_1^1$, $X_2(t) \le X_2^{\max}$, ale $X_3(t) > X_3^1$. Tym wartościom orzeczników $P(X, X^k)$ odpowiada sytuacja S_2, w której należy zwiększyć załadunek na wywóz.

Po klasyfikacji zbioru współrzędnych wszystkich punktów informacyjnych na istotne i nieistotne i wykluczeniu punktów o współrzędnych nieistotnych należy ostatecznie ustalić minimalną liczbę punktów informacyjnych *M* poprzez ich połączenie. Pod pojęciem połączenia *N* punktów informacyjnych, należących do wyjściowego zbioru *M* punktów, będzie rozumiany nowy punkt informacyjny, współrzędne, którego określane są według odpowiedniej reguły. Ten nowy punkt informacyjny wraz z *(M-N)* niepołączonymi punktami w pełni określa granicę pomiędzy sytuacjami. Otrzymany w wyniku połączenia zbiór składający się z *(M-N)+1* punktów stanowi pokrycie wyjściowego zbioru *M* punktów. Warunki konieczne i dostateczne łączenia *N* punktów informacyjnych w jeden punkt wynikają z właściwości współrzędnych nieistotnych.

Pierwsza właściwość wyklucza łączenie punktów, których odpowiednie współrzędne mają różne wartości. Z tego wynika, że dowolna współrzędna dowolnego punktu określa regułę decyzyjną, która nie wynika z żadnej innej współrzędnej rozpatrywanego zbioru N punktów informacyjnych.

Z właściwości drugiej wynika, że warunek pokrycia granic pomiędzy sytuacjami regułami decyzyjnymi jest spełniony, jeżeli zwiększymy dowolną współrzędną nieistotną. W celu udowodnienia tego faktu, dołączmy do zbioru punktów informacyjnych punkt $X_1^1 = (X_1^{K(1)},..., X_i^{K(i)} + \Delta,..., X_n^{K(n)})$, w którym współrzędna nieistotna $X_i^{K(i)}$ została zwiększona o wartości Δ. Nietrudno zauważyć, że wszystkie współrzędne punktów X_K staną się nieistotnymi i punkt ten można wykluczyć z analizowanego zbioru punktów informacyjnych.

Z powyższych dwóch właściwości współrzędnych nieistotnych wynikają następujące warunki łączenia punktów informacyjnych. Niech w analizowanym zbiorze punktów informacyjnych wszystkie ich współrzędne istotne są równe, zaś współrzędne nieistotne są nie większe od współrzędnych istotnych. Jeżeli te warunki są spełnione dla wszystkich odpowiednich współrzędnych analizowanego zbioru N punktów, to dany zbiór punktów można połączyć w jeden nowy punkt X^N.

Wartości współrzędnych nowego punktu określone są następującą zależnością:

$$X_i^N = \max(X_1^1, X_1^2,..., X_i^N), \text{ gdzie: } i = \overline{1;n}.$$

Z warunku łączenia punktów informacyjnych wynika, że do połączenia zbioru punktów informacyjnych koniecznym i dostatecznym jest aby dwa dowolne punkty tego zbioru spełniały warunki łączenia.

BIBLIOGRAFIA

1. Kazimierczak J.: Teoria gier w cybernetyce. Wiedza Powszechna. Warszawa 1973.
2. Кутыркин А.В.: Построение имитационных моделей процессов принятия решений в АСУЖТ. Вестник ВНИИЖТ, 1978, № 3.
3. Кутыркин А.В., Василев В.И.: Алоритм принятия решений по оперативному управлению перевозочным процессом при ортогональной структуре решающих правил. Вестник ВНИИЖТ, 1979, № 4.
4. Stefik M.: The Organization of Expert System, Paolo Alto, Caliph: Xerox Paolo Alto Center, 1982.

SYNTHESIS OF MODELS AND ALGORITHMS OF IDENTIFICATION OF SITUATIONS IN TRAFFIC STREAM MANAGEMENT

Summary. The paper focuses on the synthesis of models and algorithms of identification of situations concerning the orthogonal structure of decision rules in simulation management of railway traffic streams. A necessary condition and a sufficient condition of identification of decision situations were formulated and proved. Moreover, an example of planning of a complex regulation of carriages was presented.
Key words: synthesis of models, traffic streams, decision rules.