ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: TRANSPORT z. 16 Nr kol. 1100

Stanisław KRAWIEC

WYBRANE ZAGADNIENIA OPISU SYSTEMÓW DYSKRETNYCH ZDARZEŃ

Streszczenie. W artykule podjęto próbę uporządkowania podstawowych pojęć i definicji związanych z opisem Systemów Dyskretnych Zdarzeń. Rozważono niektóre aspekty opisu nieformalnego, a następnie przedstawiono definicje podstawowych pojęć opisu formalnego Systemów Dyskretnych Zdarzeń. Przedstawiono także typowy opis formalny Prostego Systemu Dyskretnych Zdarzeń oraz omówiono problematykę schematu oddziaływań i interakcji elementów w omawianym systemie. Zaprezentowano w sposób werbalny strukturę statyczną i strukturę dynamiczną Systemu Dyskretnych Zdarzeń oraz zdefiniowano pojęcie Złożonego Systemu Dyskretnych Zdarzeń.

Przedstawiona w artykule problematyka stanowi zaledwie wycinek zagadnień związanych z opisem Systemów Dyskretnych Zdarzeń, niemniej daje podstawy do tworzenia opisu formalnego Złożonego Systemu Dyskretnych Zdarzeń, realizowanego w aspekcie użyteczności do projektowania oprogramowania symulacyjnego w języku LOGLAN.

1. Uwagi wstępne

Funkcja upływu czasu ma znaczenie podstawowe dla każdego systemu dynamicznego. Badanie systemów dynamicznych za pomocą modeli systemów dynamicznych wymaga ścisłego określenia tzw. podstawy czasu modelu. Model systemu dynamicznego jest ciągły w czasie, jeżeli jego podstawa czasu, czyli zbiór T, jest izomorficzna do zbioru liczb rzeczywistych R. W klasie modeli ciągłych w czasie można wyodrębnić pewien szczególny podzbiór modeli charakteryzujący się tym, że chociaż czas zmienia się w sposób ciągły, to zmiany stanu modelu następują tylko w sposób skokowy, a długość tych skoków nie jest "a priori" określona. Modele takie przedtawiają opis Systemów Dyskretnych Zdarzeń. Artykuł niniejszy stanowi próbę uporządkowania pewnych pojęć i definicji związanych z opisem Złożonych Systemów Dyskretnych Zdarzeń w aspekcie ich użyteczności do projektowania oprogramowania symulacyjnego w języku LOGLAN.

2. Systemy Dyskretnych Zdarzeń - podstawowe pojęcia i definicje

2.1. Opis nieformalny Systemów Dyskretnych Zdarzeń

W monografii [17] zaproponowano schemat opisu nieformalnego modelu systemu, składający się ze specyfikacji elementów systemu, zmiennych opisowych i parametrów, interakcji elementów oraz schematu oddziaływań międzyelementowych. Wzorzec takiego opisu może być następujący:

Elementy

```
ELEMENT_A
ELEMENT_B   } Pewien ogólny opis łączący elementy
...         } z pojęciowymi częściami systemu rzeczywistego.
ELEMENT_Z
```

Zmienne opisowe i parametry

```
ELEMENT_A
    zmienna_A1
    zmienna_A2
    ...
    zmienna_An
    parametr_1
    parametr_2
    ...
    parametr_k
ELEMENT_B                 Zakres każdej zmiennej (wartości
    zmienna_B1            jakie ona przyjmuje);
    zmienna_B2            symbol oznaczający dowolny element
    ...                   tego zbioru (jeżeli jest wykorzys-
    zmienna_Bm            tywany później w opisie formalnym);
    parametr_1            zwięźle pokazana rola zmiennej
    parametr_2            w opisie elementów z nią związanych.
    ...
    parametr_h

..........

ELEMENT_Z
    zmienna_Z1            Zakres każdego parametru;
    zmienna_Z2            symbol oznaczający dowolny element
    ...                   tego zakresu (jeżeli jest później
    zmienna_Zq            wykorzystywany);
    parametr_1            zwięźle pokazana rola parametru
    parametr_2
    ...
    parametr_w
```

Parametry ogólne

```
PARAMETRY                 Zakres każdego parametru;
    parametr_1            symbol oznaczający dowolny element
    parametr_2            tego zakresu (jeżeli jest później
    ...                   wykorzystywany);
    parametr_p            rola parametru w opisie struktury modelu.
```

Interakcja elementów

(Wzajemny wpływ, oddziaływanie lub działanie elementów modelu, ich wzajemna komunikacja, opisane nieformalnie za pomocą założeń, reguł, praw itd.).

Schemat oddziaływań

(Elementy pokazane jako skrzynki zaetykietowane poprzez swoje nazwy, oddziaływania elementów oznaczone strzałkami skierowanymi. Schemat ten pokazuje zbiór przyczynowych ścieżek modelu.).

2.2. Podstawowe pojęcia opisu formalnego Systemu Dyskretnych Zdarzeń

A. Pojęcie stanu, funkcji przejścia i funkcji wyjścia

W wielu modelach możliwe jest określenie podzbioru wszystkich zmiennych opisowych takiego, że tylko bieżące wartości tych zmiennych muszą być dostępne w celu obliczenia przyszłych wartości wszystkich zmiennych opisowych. Zbiór taki nazywany jest *zbiorem zmiennych stanu* [17].

Rozważając model ze zmiennymi opisowymi $a_1, a_2, \ldots, a_n$, można powiedzieć, że wartości tych zmiennych w pewnym czasie t są $z_1, z_2, \ldots, z_n$, jeżeli w czasie tym zmienna a_1 posiada wartość z_1, zmienna a_2 wartość z_2, itd.

Model nazywany jest modelem *dobrze opisanym*, jeżeli reguły interakcji elementów określają dla każdego przyszłego czasu t' (większego od t) jednoznaczny zbiór wartości $z'_1, z'_2, \ldots, z'_n$, gdy w czasie t dane są wartości $z_1, z_2, \ldots, z_n$. Podzbiór zbioru zmiennych opisowych jest zbiorem zmiennych stanu, jeżeli wartości tych zmiennych w czasie t same jednoznacznie determinują wartości wszystkich zmiennych opisowych w pewnym przyszłym czasie t'.

Na model popatrzeć można jako na moduł programowy, który przekształca ciąg wartości stanu w ciąg wartości opisowych. Zatem moduł taki może być przedstawiony jako wykonujący odwzorowanie f, którego dziedziną jest zbiór możliwych ciągów wartości stanu, a przeciwdziedziną zbiór możliwych ciągów wartości opisowych [17].

$$f(z_1,\ldots,z_m) = (z'_1,\ldots,z'_m, z'_{m+1},\ldots,z'_n)$$

Równanie to opisuje sytuację, w której moduł przekształca ciąg $z_1,\ldots,z_m$ w ciąg $z'_1,\ldots,z'_n$. Odwzorowanie f może być przedstawione jako składające się z dwóch funkcji: jedna dla danego ciągu $z_1,\ldots,z_m$ wytwarza ciąg $z'_1,\ldots,z'_m$, a druga przekształca oba ciągi $z_1,\ldots,z_m$ oraz $z'_1,\ldots,z'_m$ w ciąg $z'_1,\ldots,z'_m, z'_{m+1},\ldots,z'_n$ (wartości $z'_1,\ldots,z'_m$ są jedynie kopiowane).

Oznaczając te funkcje symbolami ϕ i ψ ,można napisać:

$$\phi(z_1,\ldots,z_m) = (z'_1,\ldots,z'_m)$$

$$\psi((z_1,\ldots,z_m),(z'_1,\ldots,z'_m)) = (z'_1,\ldots,z'_m,\ z'_{m+1},\ldots,z'_n)$$

$$f(z_1,\ldots,z_m) = \psi((z_1,\ldots,z_m),\ \phi(z_1,\ldots,z_m))$$

Powyższe zapisy można zilustrować następująco:

$$z_1,\ldots,z_m \longrightarrow f \longrightarrow z'_1,\ldots,z'_m,\ z'_{m+1},\ldots,z'_n \qquad \text{lub}$$

$$z_1,\ldots,z_m \longrightarrow \phi \longrightarrow z'_1,\ldots,z'_m \longrightarrow \psi \longrightarrow z'_1,\ldots,z'_n$$

Często funkcja ψ jest niezależna od wartości $z_1,\ldots,z_m$ i wtedy jest możliwa prostsza postać zapisu powyższych równań:

$$\phi(z_1,\ldots,z_m) = (z'_1,\ldots,z'_m)$$

$$\psi(z'_1,\ldots,z'_m) = (z'_1,\ldots,z'_n)$$

$$f(z_1,\ldots,z_m) = \psi(\phi(z_1,\ldots,z_m))$$

Zapisy powyższe można zilustrować następująco:

$$z_1,\ldots,z_m \longrightarrow \phi \longrightarrow z'_1,\ldots,z'_m \longrightarrow \psi \longrightarrow z'_1,\ldots,z'_n$$

Zapis ten nazywany jest *postacią normalną* funkcji f. Dla wielu modeli zbiór zmiennych stanu może być tak dobrany, że prowadzi to do postaci normalnej funkcji f.

Przekształcenie ϕ nazywane jest <u>funkcja przejścia stanu</u> . Na podstawie ciągu wartości zmiennych stanu modelu w czasie t_i wytwarza ono ciąg wartości zmiennych stanu modelu w czasie t_{i+1}. (Innymi słowy, funkcja ϕ przekształca stan, w którym się znajduje model w bieżącej chwili obliczeniowej, w stan w którym będzie się on znajdował w następnej chwili obliczeniowej).

Przekształcenie ψ nazywane jest <u>funkcja wyjścia</u> . Przekształca ono ciąg wartości zmiennych stanu w pewnej chwili obliczeniowej w ciąg wartości opisowych w tej samej chwili. (Innymi słowy, funkcja ψ przekształca bieżący stan modelu w całkowity opis modelu w tym stanie).

Zbiór wszystkich możliwych dopuszczalnych przydziałów wartości dla zmiennych stanu (nazywany produktem kartezjańskim zakresów zmiennych stanu) może być oznaczony przez:

$$ZS = \bigtimes_{zs \in \text{ZMIENNE_STANU}} \text{ZAKRES_}zs$$

lub przez: $ZS = \text{ZAKRES_}zs_1 \times \text{ZAKRES_}zs_2 \times \ldots \times \text{ZAKRES_}zs_i \times \ldots$

gdzie: ZMIENNE_STANU są podzbiorem zmiennych opisowych, reprezentującym wybrane zmienne stanu modelu;
(ZMIENNE_OPISOWE = { ZMIENNE_STANU, ZMIENNE_WYJŚCIOWE });
zs_i jest i-tą zmienną stanu, a $ZAKRES_zs_i$ jest jej zakresem (tj. zbiorem wartości jakie, może przyjmować zs_i) .

Model często nie musi dotyczyć wszystkich możliwych przydziałów zmiennych stanu (które w sensie rozpatrywanego zadania nie są stanami modelowanego systemu). Natomiast często określa się podzbiór, zwany *zbiorem stanów modelu*, który należy do zbioru wartości stanu. Podzbiór ten można oznaczyć jako **STANY**.

Powyższa uwaga może być zapisana w prostszej formie:

$$STANY \subseteq ZS$$

Zbiór **ZS** nazywany jest również *przestrzenią stanów* [2].

Analogicznie dla zmiennych wyjściowych można napisać:

$$ZWY = \bigtimes_{zwy \in ZMIENNE_WYJSCIOWE} ZAKRES_zwy$$

gdzie zwy oznacza zmienną wyjściową.

Zbiór ZWY nazywany jest *przestrzenią zmiennych wyjściowych* [2]. Dla wyjścia modelu można określić zbiór **WYJSCIA** , który jest podzbiorem ZWY.

Funkcje przejścia i wyjścia określają jak zmienia się opis modelu w czasie (modelowym) [17]. W przypadku modelu niezmiennego w czasie i dyskretnego kroku h, normalna postać tych funkcji może być prosto wyrażona jako:

$$\phi_h : STANY \longrightarrow STANY \quad i \quad \psi : STANY \longrightarrow WYJSCIA$$

W każdym modelu istotny jest fakt, czy reguły interakcji modelu są ściśle zależne od czasu. Model jest *niezmienny w czasie*, jeżeli reguły interakcji są całkowicie zależne od wartości, które mogą przyjmować zmienne opisowe. Jeżeli czas wchodzi jako argument do reguł interakcji, to mamy do czynienia z modelem *zmiennym w czasie*, bowiem reguły interakcji mogą być różne w różnym czasie.

B. Modele autonomiczne i nieautonomiczne.

Modele systemów dyskretnych zdarzeń można podzielić w zależności od sposobu, w jaki w modelu jest brane pod uwagę wzajemne oddziaływanie systemu rzeczywistego z jego otoczeniem:

- model jest *modelem autonomicznym*, jeżeli przyjęto w nim, że system rzeczywisty jest izolowany od wszelkich działań ze strony swego otoczenia;
- model jest *modelem nieautonomicznym*, gdy znajduje się on pod wpływem

otoczenia (posiada on wtedy zmienne, których wartości nie są przez model kontrolowane, lecz na które musi on reagować).

W przypadku systemu nieautonomicznego zbiór zmiennych opisowych modelu rozszerzony zostaje więc o ZMIENNE_WEJŚCIOWE, których wartości determinowane są poza modelem. Pozostałe zmienne ZMIENNE_NIE_WEJŚCIOWE pozostają (przynajmniej częściowo) pod kontrolą modelu.

W pracy [17] zmienne opisowe modelu systemu nieautonomicznego sklasyfikowano następująco:

ZMIENNE_OPISOWE = { ZMIENNE_WEJŚCIOWE, ZMIENNE_NIE_WEJŚCIOWE }

ZMIENNE_NIE_WEJŚCIOWE = { ZMIENNE_STANU, ZMIENNE_NIE_STANU } .

Można powiedzieć, że model jest *dobrze opisany*, jeżeli wartości ZMIENNYCH_NIE_WEJŚCIOWYCH w dowolnym czasie t oraz trajektoria wartości ZMIENNYCH_WEJŚCIOWYCH w przedziale $[t,t']$ (gdzie $t'>t$) jednoznacznie determinują wartości ZMIENNYCH_NIE_WEJŚCIOWYCH w czasie t'. (Zatem w przypadku modelu autonomicznego jest on dobrze opisany wtedy i tylko wtedy, jeżeli posiada zbiór zmiennych stanu [17]).

Zawężając rozważania do modeli dyskretnych, niezmiennych w czasie, można za [17] stwierdzić:

Podzbiór ZMIENNYCH_NIE_WEJŚCIOWYCH *jest zbiorem zmiennych stanu wtedy i tylko wtedy, jeżeli wartości tych zmiennych w dowolnym czasie* t *oraz wartości* ZMIENNYCH_WEJŚCIOWYCH *w czasie* t *i* $t+h$ *jednoznacznie determinują wartości* ZMIENNYCH_NIE_WEJŚCIOWYCH *w czasie* $t+h$.

Dla modeli nieautonomicznych funkcja przejścia oraz funkcja wyjścia określone są następująco (w postaci normalnej):

$$\phi_h: \text{STANY} \times \text{WEJSCIA} \longrightarrow \text{STANY} \quad \text{i} \quad \psi: \text{STANY} \times \text{WEJSCIA} \longrightarrow \text{WYJSCIA}$$

gdzie:

WEJSCIA, STANY i WYJSCIA są odpowiednimi podzbiorami produktu kartezjańskiego zmiennych wejściowych, zmiennych stanu i zmiennych wyjściowych.

C. Opis Prostego Systemu Dyskretnych Zdarzeń

Wykorzystując wprowadzone już pojęcia można formalnie opisać Prosty System Dyskretnych Zdarzeń w sposób następujący:

$$OSDZ = \langle \text{WEJŚCIA}, \text{STANY}, \text{WYJŚCIA}, \delta, \lambda, t \rangle$$

gdzie:

$$\text{WEJŚCIA} = \mathop{\times}_{\alpha \in \text{ZMIENNE_WEJŚCIOWE}} \text{ZAKRES}_{\alpha} = \text{ZAKRES}_{\alpha_1} \times \text{ZAKRES}_{\alpha_2} \times \ldots \times \text{ZAKRES}_{\alpha_i} \times \ldots$$

$\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_i, \ldots$ - zmienne wejściowe;

ZAKRES_{α_i} -zbiór wartości ,jakie może przyjmować zmienna wejściowa α_i ;

$$\text{STANY} = \mathop{\times}_{\beta \in \text{ZMIENNE_STANU}} \text{ZAKRES}_{\beta} = \text{ZAKRES}_{\beta_1} \times \text{ZAKRES}_{\beta_2} \times \ldots \times \text{ZAKRES}_{\beta_k} \times \ldots$$

$\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k, \ldots$ - zmienne stanu ;

ZAKRES_{β_k} -zbiór wartości ,jakie może przyjmować zmienna wejściowa β_k ;

$$\text{WYJŚCIA} = \mathop{\times}_{\gamma \in \text{ZMIENNE_WYJŚCIOWE}} \text{ZAKRES}_{\gamma} = \text{ZAKRES}_{\gamma_1} \times \text{ZAKRES}_{\gamma_2} \times \ldots \times \text{ZAKRES}_{\gamma_l} \times \ldots$$

$\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_l, \ldots$ - zmienne wejściowe ,

ZAKRES_{γ_l} -zbiór wartości ,jakie może przyjmować zmienna wejściowa γ_l ;

δ - f.przejścia ,składająca się z dwóch części: autonomicznej funkcji przejścia (δ_o) oraz dodatkowo zewnętrznej funkcji przejścia (δ_z) ,gdy występują zdarzenia zewnętrzne;

δ_o: STANY $\longrightarrow$ STANY .Funkcja ta oznacza, że jeżeli model w czasie t_x znajduje się w stanie $s \in$ STANY,do którego właśnie przeszedł, to w czasie $t_x + t(s)$ przejdzie do stanu $\delta(s)$,jeżeli w międzyczasie w przedziale $[t_x, t_x + t(s)]$ nie wystąpi żadne zdarzenie zewnętrzne;

δ_z: STANY $\times$ WEJŚCIA $\longrightarrow$ STANY: Funkcja ta oznacza, że jeżeli model w czasie t_x znajduje się w stanie $s \in$ STANY i jeżeli $x \in$ WEJŚCIA pojawi się w czasie $t_x + e$,to stan modelu po wystąpieniu zdarzenia zewnętrznego będzie równy $\delta_z(s, x, e)$;

λ : STANY $\times$ WEJŚCIA $\longrightarrow$ WYJŚCIA :Funkcja ta oznacza ,że jeżeli model w czasie t_x jest w stanie $s \in$ STANY ,to zmienne wyjściowe w tym samym czasie t_x przyjmują wartość $\lambda(s)$;

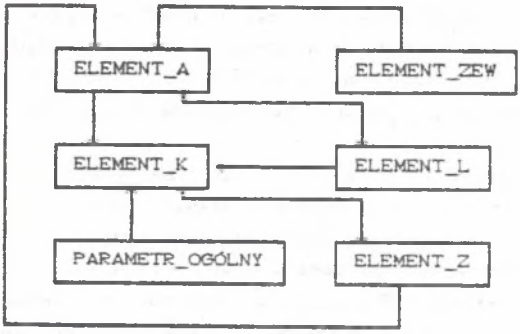
$\hat{t}$: STANY $\times$ WEJŚCIA $\longrightarrow \mathcal{R}^{+}_{0,\infty}$:Funkcja postępu czasu oznacza, że jeżeli model w czasie t_x jest w stanie s ,to pozostanie w nim do czasu $t_x + t$,gdzie $t = \min(\delta_j)$; δ_j - ciąg wartości zmiennych zegarowych podzbioru zmiennych stanu i zmiennych wejściowych .

Przedstawiony opis Prostego Systemu Dyskretnych Zdarzeń można zastosować tylko dla modeli spełniających warunek niezmienności w czasie ("modeli stacjonarnych"). Większość modeli rzeczywistych Systemów Dyskretnych Zdarzeń nie spełnia jednak tego warunku, co uniemożliwia zastosowanie opisu w postaci OSDZ, który jest w pewnym sensie opisem iteracyjnym. W większości rzeczywistych problemów nie jest możliwe podanie jednoznacznej funkcji przejścia ze stanu s do stanu $\delta_o(s)$ dla całego modelu, bowiem skomplikowane reguły interakcji i wzajemnych zależności elementów są funkcją czasu, co powoduje niestacjonarność modelu i w konsekwencji powodowałoby niejednoznaczność ogólnej funkcji przejścia modelu.

2.3. Schemat oddziaływań i interakcja elementów.

A. Struktura statyczna schematu oddziaływań.

Wyodrębnienie z ogólnego opisu systemu rzeczywistego na początkowym etapie tworzenia modelu właściwych elementów (pojęciowych części tego modelu), które będą tworzyły ten model, nie jest rzeczą prostą, uwzględniając fakt, że celem tego działania jest tworzenie procesu zasadnego. Jeszcze większą umiejętnością jest właściwa klasyfikacja wyodrębnionych już elementów, co dla skomplikowanych systemów dyskretnych zdarzeń będzie podstawą definiowania zasad interakcji i tworzenia funkcji przejścia. Właściwa klasyfikacja elementów modelu umożliwia zrealizowanie prawidłowego schematu oddziaływań modelu, którego prosty przykład przedstawiono na rys.1.



Rys.1 Przykładowy schemat oddziaływań modelu systemu dyskretnych zdarzeń
Fig.1 An exaplary scheme of interaction of discrete events system model

Zrealizowanie prawidłowego schematu oddziaływań modelu należy rozpatrywać w kategorii przyjętych kryteriów badania zasadności zrealizowanego modelu, w związku z tym dla danego obiektu może istnieć więcej niż jeden prawidłowy schemat oddziaływań, w zależności od stopnia agregacji elementów i zmiennych modelu. Pozwala to na pewną dowolność w definiowaniu elementów modelu i realizacji prawidłowego schematu oddziaływań. W każdym jednak schemacie oddziaływań skomplikowanego systemu dyskretnych zdarzeń można wyodrębnić następujace typy elementów:

- element aktywny,
- element pasywny,
- element oddziaływający,
- element podległy,
- element zewnętrzny.

Zbiór D = {ELEMENT_A,...,ELEMENT_Z} wszystkich elementów modelowanego Systemu Dyskretnych Zdarzeń można podzielić na typy aktywne, oznaczone jako podzbiór D' = {ELEMENT_A,...,ELEMENT_K} oraz typy pasywne, oznaczone jako podzbiór D'' = {ELEMENT_L,...,ELEMENT_Z}.

Dla każdego elementu aktywnego $x \in D'$ muszą istnieć następujące zmienne opisowe:

STAN_x - z zakresu S_x (który jest zbiorem), z typową wartością $\hat{S}_x$,

CZAS_POZOSTAWANIA_x_W_STANIE - z zakresu $R^+_{0,\infty}$ (zbiór liczb rzeczywistych nieujemnych plus ∞) z typową wartością $\hat{C}_x$.

Dla każdego elementu pasywnego $y \in D''$ musi istnieć następująca zmienna opisowa:

STAN_y - z zakresu S_y (który jest zbiorem), z typową wartością $\hat{S}_y$.

Dla poprawnie zrealizowanego opisu Systemu Dyskretnych Zdarzeń w języku naturalnym podmiotom tego opisu opisanym w stronie czynnej odpowiadają elementy aktywne, natomiast podmiotom opisu opisanym w stronie biernej odpowiadają elementy pasywne. Przykładowa sekwencja następujących zdań: "Na sygnalizatorze podano sygnał zezwalający. Pociąg minął sygnalizator, wjechał na stację oraz ustawił na sygnalizatorze sygnał STÓJ", opisujących fragment Systemu Dyskretnych Zdarzeń, pozwala wysnuć między innymi następujące wnioski:

- element SYGNALIZATOR jest elementem aktywnym;
- element POCIĄG jest elementem pasywnym;
- element SYGNALIZATOR zmienił swój stan wskutek działania innego, nieopisanego w tym fragmencie elementu aktywnego;
- element POCIĄG zmienił swój stan, wjeżdżając na stację oraz zmienił stan elementu SYGNALIZATOR.

Każdy element aktywny Systemu Dyskretnych Zdarzeń jest zdolny do

oddziaływania na inne elementy tego systemu, czyli może mieć wpływ na zmianę wartości zmiennych opisowych tych elementów. Własności takich nie posiadają elementy pasywne, bowiem zmiana stanu takiego elementu może być wymuszona tylko aktywnością elementu aktywnego. Wzajemne oddziaływanie elementów modelowego systemu pozwala wyodrębnić dla każdego elementu aktywnego $x \in D'$:

- podzbiór elementów podległych $D_p \subset D$;
- podzbiór elementów oddziaływających $D_o \subset D$;

Element x należy do każdego z tych zbiorów.

Do podzbioru elementów podległych mogą należeć zarówno elementy pasywne jak i aktywne.

Elementami oddziaływającymi mogą być elementy aktywne, elementy pasywne oraz parametry ogólne. Elementy oddziaływają swoimi zmiennymi i parametrami. Aktywny element oddziaływający może oddziaływać na rozpatrywany element bezpośrednio, tzn. bezpośrednio powodować zmiany wartości zmiennych opisowych tego elementu. Oddziaływujące elementy pasywne oraz parametry ogólne mogą oddziaływać tylko w sposób pośredni, tzn. aktualne wartości ich zmiennych opisowych i parametrów są warunkiem (predykatem) zadziałania aktywnego elementu oddziaływającego. Przykładowe zdanie: "Człowiek przenosi krzesło, jeśli drzwi są otwarte" opisujące w języku naturalnym fragment Systemu Dyskretnych Zdarzeń, pozwala wysunąć następujące wnioski:

- element CZŁOWIEK jest elementem aktywnym;
- element KRZESŁO jest elementem pasywnym;
- element DRZWI jest elementem pasywnym;
- elementami oddziaływającymi elementu CZŁOWIEK są następujące elementy: CZŁOWIEK, DRZWI;
- elementami podległymi elementu CZŁOWIEK są następujące elementy: CZŁOWIEK, KRZESŁO;
- oddziaływający element pasywny: DRZWI, poprzez swój stan może, ale nie musi zezwolić na przesunięcie krzesła.

Jeżeli wśród elementów oddziaływających elementu aktywnego nie ma innych elementów aktywnych, to element ten może zmienić wartości swych zmiennych opisowych tylko wskutek własnego działania.

Schemat oddziaływań modelowego systemu ustala ścieżki przyczynowe wzajemnego podlegania i oddziaływania elementów.

Jeżeli modelowany System Dyskretnych Zdarzeń jest nieautonomiczny, to występuje także pojęcie elementu zewnętrznego, którego zmienne opisowe są zmiennymi wejściowymi do modelu. Wartości tych zmiennych nie są przez model kontrolowane, lecz musi on na nie reagować. Element zewnętrzny modelu może więc być elementem oddziaływającym niektórych elementów modelu.

PRZYKŁAD

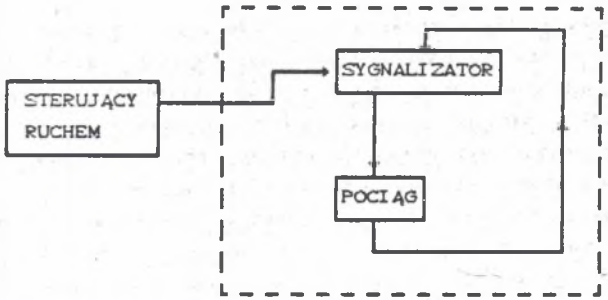
Następująca sekwencja zdań opisuje fragment Systemu Dyskretnych Zdarzeń:

"Na sygnalizator podano sygnał zezwalający. Pociąg jedzie do sygnalizatora. Jeżeli na sygnalizatorze jest sygnał zezwalający, to pociąg mija sygnalizator, a jeżeli sygnał STÓJ, to pociąg zatrzymuje się. Po minięciu sygnalizatora pociąg ustawia na nim sygnał STÓJ w celu ochronnym".

Na podstawie tego opisu można wysnuć między innymi następujące wnioski:

- element SYGNALIZATOR jest elementem pasywnym (występuje w stronie biernej);
- element POCIĄG jest elementem aktywnym (występuje w stronie czynnej);
- element SYGNALIZATOR jest elementem oddziaływającym na element aktywny POCIĄG, bowiem od jego stanu zależy przyszły stan pociągu;
- element SYGNALIZATOR jest jednocześnie elementem podległym elementu POCIĄG, bowiem jego stan zależy także od stanu pociągu;
- opisywany fragment systemu nie jest autonomiczny, bowiem występuje element zewnętrzny, o nazwie np. STERUJĄCY_RUCHEM, który wpływa na stan sygnalizatora.

Schemat oddziaływań przedstawionego w przykładzie fragmentu Systemu Dyskretnych Zdarzeń przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Schemat oddziaływań fragmentu Systemu Dyskretnych Zdarzeń
Fig.2. An interaction scheme of Discrete Events System fragment

Dla przedstawionego fragmentu Systemu Dyskretnych Zdarzeń można więc wyodrębnić następujące zbiory elementów:

- zbiór elementów D = {POCIĄG, SYGNALIZATOR},
- zbiór elementów zewnętrznych D_z = {STERUJĄCY_RUCHEM},
- zbiór elementów aktywnych D' = {POCIĄG},
- zbiór elementów pasywnych D" = {SYGNALIZATOR},
- dla elementu aktywnego POCIĄG:
  + podzbiór elementów podległych: D_p = {POCIĄG, SYGNALIZATOR},

÷ podzbiór elementów oddziaływających: D_o = {POCIĄG, SYGNALIZATOR}.

B. Struktura dynamiczna schematu oddziaływań - interakcja elementów

Wzajemna interakcja elementów rozpatrywanego Systemu Dyskretnych Zdarzeń stanowi strukturę dynamiczną. Podstawową funkcją struktury dynamicznej jest funkcja postępu czasu.

Typowy stan typowego Systemu Dyskretnych Zdarzeń, w którym występują zbiory:

- zbiór wszystkich elementów D: D = {ELEMENT_A,...,ELEMENT_Z},
- zbiór elementów aktywnych D': D' = {ELEMENT_A,...,ELEMENT_K},
- zbiór elementów pasywnych D": D" = {ELEMENT_L,...,ELEMENT_Z},

można oznaczyć następująco:

$$S=((\hat{S}_A,\hat{C}_A),\ldots,(\hat{S}_K,\hat{C}_K),\hat{S}_L,\ldots,\hat{S}_Z)$$

Funkcja postępu czasu $\hat{t}$ dla takiego systemu zdefiniowana jest następująco:

$$\hat{t}((\hat{S}_A,\hat{C}_A),\ldots,(\hat{S}_K,\hat{C}_K),\hat{S}_L,\ldots,\hat{S}_Z)=\min(\hat{C}_A,\ldots,\hat{C}_K)$$

Jeżeli model w czasie time (aktualny czas modelowy) znajdował się w stanie S, to pozostanie w nim do chwili time+$\hat{t}$(s). Jeżeli $\hat{t}$(s)=0, to następne zdarzenie (uaktywnienie jednego z elementów aktywnych), czyli następna zmiana stanu modelu nastąpi po raz kolejny w czasie time. Każdorazowe uaktywnienie elementu aktywnego powoduje zmianę stanu modelu, a konkretniej zmianę stanów elementów podległych temu elementowi, zgodnie z zasadami opisanymi za pomocą lokalnej funkcji przejścia tego elementu. Jeżeli na daną chwilę czasu time+$\hat{t}$(s) zaplanowane może być uaktywnienie kilku elementów aktywnych (sytuacja taka występuje zawsze w kroku poprzedzającym sytuację, gdy $\hat{t}$(s)=0), to istotna może być kolejność ich aktywacji, ze względu na wzajemne powiązanie elementów oddziaływających i podległych. O kolejności aktywacji elementu ze zbioru elementów współzawodniczących o uaktywnienie się w pierwszej kolejności może decydować funkcja WYBÓR. Funkcja WYBÓR w postaci ogólnej musi dla każdego niepustego zbioru elementów aktywnych wybierać element tego zbioru. Jeżeli typów aktywnych jest N, to występuje 2^N-1 takich zbiorów, co może znakomicie utrudnić szczegółowe określenie tej funkcji. Najprostszym rozwiązaniem jest przydzielenie elementom aktywnym określonego poziomu priorytetu.

Dla każdego aktywnego elementu x∈D' można określić lokalną funkcję przyjścia δ_x, która pobiera jako argumenty ciąg wartości dotyczących elementów oddziaływających elementu x (zbiór D_o) oraz elementów podległych

elementu x (zbiór D_p) i wytwarza ciąg wartości dotyczących elementów podległych elementu x. Każdorazowe wystąpienie zdarzenia w elemencie $x \in D'$, czyli uaktywnienie tego elementu powoduje akcję tego elementu zgodnie z zasadami zawartymi w jego lokalnej funkcji przejścia, czyli realizuje funkcję:

$$\delta_x((\hat{s}_x,\hat{c}_x),(\hat{s}_{i_1},\hat{c}_{i_1}),\ldots,(\hat{s}_{i_A},\hat{c}_{i_A}),\hat{s}_{i_{A+1}},\ldots,\hat{s}_{i_M},(\hat{s}_{j_1},\hat{c}_{j_1}),\ldots$$

$$\ldots,(\hat{s}_{j_B},\hat{c}_{j_B}),\hat{s}_{j_{B+1}},\ldots,\hat{s}_{j_N}) = ((\hat{s}'_x,\hat{c}'_x),(\hat{s}'_{j_1},\hat{c}'_{j_1}),\ldots,(\hat{s}'_{j_B},\hat{c}'_{j_B}),\hat{s}'_{j_{B+1}},\ldots,\hat{s}'_{j_N}$$

gdzie:

x - uaktywniony element aktywny;

$i_1,\ldots,i_A$ - aktywne elementy oddziaływające elementu x z wyłączeniem elementu x;

$i_{A+1},\ldots,i_M$ - pasywne elementy oddziaływające elementu x;

$j_1,\ldots,j_B$ - aktywne elementy podległe elementu x z wyłączeniem elementu x;

$i_{B+1},\ldots,i_N$ - pasywne elementy podległe elementu x;

Jeżeli typowy stan Systemu Dyskretnych Zdarzeń przed realizacją funkcji δ_x był następujący:

$$s=((\hat{s}_A,\hat{c}_A),\ldots,(\hat{s}_x,\hat{c}_x),\ldots,(\hat{s}_K,\hat{c}_K),\hat{s}_L,\ldots,\hat{s}_Z)$$

to po realizacji funkcji δ_x nowy stan s' będzie następujący:

$$s'=((\bar{s}_A,\bar{c}_A),\ldots,(\bar{s}_x,\bar{c}_x),\ldots,(\bar{s}_K,\bar{c}_K),\bar{s}_L,\ldots,\bar{s}_Z)$$

gdzie:

$$(\hat{s}_A,\hat{c}_A) = \begin{cases} (\hat{s}'_A,\hat{c}'_A) & \text{jeżeli } A \in (j_1,\ldots,j_B) \\ (\hat{s}_A,\hat{c}_A - \hat{t}(s)) & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

...

$$(\bar{s}_x,\bar{c}_x) = (\hat{s}'_x,\hat{c}'_x)$$

...

$$(\bar{s}_K,\bar{c}_K) = \begin{cases} (\hat{s}'_K,\hat{c}'_K) & \text{jeżeli } A \in (j_1,\ldots,j_B) \\ (\hat{s}_K,\hat{c}_K - \hat{t}(s)) & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$\bar{s}_L = \begin{cases} \hat{s}'_L & \text{jeżeli } Le(j_{B+1},\ldots,j_N) \\ \hat{s}_L & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

...

$$\bar{s}_Z = \begin{cases} \hat{s}'_Z & \text{jeżeli } Le(j_{B+1},\ldots,j_N) \\ \hat{s}_Z & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Taka interpretacja działania lokalnej funkcji przejścia δ_x odpowiada w zasadzie opisowi Prostego Systemu Dyskretnych Zdarzeń, gdzie zamiast zbioru lokalnych funkcji przejścia elementów aktywnych występuje funkcja przejścia całego systemu, którą można zapisać w postaci iteracyjnej. Warunkiem takiej odpowiedniości jest jednak każdorazowa realizacja lokalnej funkcji przejścia δ_x uaktywnionego elementu aktywnego podczas całego procesu symulacyjnego. Warunek ten nie zawsze jest spełniony, bowiem realizacja lokalnej funkcji przejścia elementu aktywnego jest zależna od następujących czynników:

- wybór tego elementu przez funkcję postępu czasu i funkcję WYBÓR;
- spełnienie merytorycznego warunku wstępnego realizacji tej funkcji.

Jeżeli istnieje możliwość, że pomimo zaplanowania elementu aktywnego do uaktywnienia nie będzie możliwa realizacja lokalnej funkcji przejścia tego elementu, to można taki system zdefiniować jako **ZŁOŻONY SYSTEM DYSKRETNYCH ZDARZEŃ**. Przykładem takiego systemu może być System Dyskretnych Zdarzeń, którego opis zrealizowany w języku naturalnym zawiera m.in. następujące zdanie: "Planowy czas odjazdu pociągu wynosi 16.32, ale pociąg odjedzie, jeżeli na sygnalizatorze jest sygnał zezwalający". Złożonymi Systemami Dyskretnych Zdarzeń są z definicji wszystkie niestacjonarne systemy dyskretnych zdarzeń.

Przyjmując założenie, że:

- funkcja a_x będzie predykatem (warunkiem wstępnym) realizacji lokalnej funkcji przejścia δ_x, tj. dla każdego stanu $((\hat{s}_{i_1},\hat{c}_{i_1}),\ldots,(\hat{s}_{i_A},\hat{c}_{i_A}),\hat{s}_{i_{A+1}},\ldots,\hat{s}_{i_M})$ elementów oddziaływających elementu x funkcja $a_x((\hat{s}_{i_1},\hat{c}_{i_1}),\ldots,(\hat{s}_{i_A},\hat{c}_{i_A}),\hat{s}_{i_{A+1}},\ldots,\hat{s}_{i_M})$ przyjmuje wartość albo TRUE albo FALSE;
- funkcja f_x będzie przedstawiała oddziaływanie elementu x na jego elementy podległe w przypadku aktywacji tego elementu oraz posiadać przy tym będzie taką samą dziedzinę i zakres zmian jak funkcja δ_x,

to lokalną funkcję przejścia elementu aktywnego x można przedstawić

następująco:

$$\delta_x(\langle\hat{s}_x,\hat{c}_x\rangle,\langle\hat{s}_{i_1},\hat{c}_{i_1}\rangle,\ldots,\langle\hat{s}_{i_A},\hat{c}_{i_A}\rangle,\hat{s}_{i_{A+1}},\ldots,\hat{s}_{i_M},\langle\hat{s}_{j_1},\hat{c}_{j_1}\rangle,\ldots,\langle\hat{s}_{j_B},\hat{c}_{j_B}\rangle,$$
$$,\hat{s}_{j_{B+1}},\ldots,\hat{s}_{j_N}\rangle =$$

$$= \begin{cases} f_x(\langle\hat{s}_x,\hat{c}_x\rangle,\langle\hat{s}_{i_1},\hat{c}_{i_1}\rangle,\ldots,\langle\hat{s}_{i_A},\hat{c}_{i_A}\rangle,\hat{s}_{i_{A+1}},\ldots,\hat{s}_{i_M},\langle\hat{s}_{j_1},\hat{c}_{j_1}\rangle,\ldots,\langle\hat{s}_{j_B},\hat{c}_{j_B}\rangle, \\ \qquad ,\hat{s}_{j_{B+1}},\ldots,\hat{s}_{j_N}\rangle \quad \text{jeżeli} \quad a_x(\langle\hat{s}_{i_1},\hat{c}_{i_1}\rangle,\ldots,\langle\hat{s}_{i_A},\hat{c}_{i_A}\rangle,\hat{s}_{i_{A+1}},\ldots,\hat{s}_{i_M})=\text{TRUE} \\ \langle\hat{s}_x,\hat{c}_x-\hat{t}(s)\rangle \text{ w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Sytuacja taka powoduje, że w zbiorze $\langle\hat{c}_A,\ldots,\hat{c}_K\rangle$ znajdzie się wartość mniejsza od czasu TIME.

Efekt ten można zneutralizować w następujący sposób:

- założyć, że zmienne CZAS_POZOSTAWANIA_x_W_STANIE mogą przyjmować wartości ujemne, a ujemna wartość tej zmiennej oznacza gotowość elementu x do uaktywnienia, gdy tylko zostaną spełnione warunki, określone w funkcji a_x; powoduje to jednak konieczność badania predykatu a_x przy każdorazowym uaktywnieniu kolejnych elementów aktywnych; dla Złożonych Systemów Dyskretnych Zdarzeń metoda ta jest bardzo kłopotliwa;
- przyporządkować zmiennej CZAS_POZOSTAWANIA_x_W_STANIE wartość ∞, jeżeli element x może zostać ponownie zmuszony do aktywacji przez inny proces dla którego element x jest elementem podległym lub wyznaczyć dla tej zmiennej okres czasu do próby ponownej aktywacji.

3. Uwagi końcowe

Przedstawiona w artykule problematyka stanowi zaledwie wycinek zagadnień związanych z opisem Systemów Dyskretnych Zdarzeń, niemniej jednak daje podstawy do tworzenia opisu formalnego Złożonego Systemu Dyskretnych Zdarzeń, realizowanego w aspekcie użyteczności do projektowania opragramowania symulacyjnego w języku LOGLAN. Problematyka ta jest treścią następnych artykułów niniejszego zeszytu.

LITERATURA

[1] AHO A.V., HOPCROFT J.E., ULLMAN J.D.: Projektowanie i analiza algorytmów komputerowych. *PWN, Warszawa 1983* .
[2] BUSLENKO N.P, KAŁASZNIKOW W.W., KOWALENKO I.N.: Teoria systemów złożonych *PWN, Warszawa 1979* .
[3] COHEN B., HARWOOD W.T., JACKSON M.I.: The Specification of Complex Systems. *Addison-Wesley Publishing Company, 1986* .
[4] CYGAN Z., DZIADYKIEWICZ L.: Identyfikacja złożonych systemów transportowych. *Zagadnienia Transportu nr 1/2 1982/1983, PAN, Warszawa 1985* .
[5] DĄBROWA-BAJON M.: Modelowanie w zakresie sterowania ruchem kolejowym. *Problemy Kolejnictwa , nr 95, Warszawa 1982* .
[6] ENN CH. TYUGU: Programowanie z bazą wiedzy. WNT, Warszawa 1989.
[7] HEWITT C., BAKER H.: Actors and Continuous Functionals - *artykuł z tomu: "Formal Descriptions of Programming Concepts". North-Holland Publishing Company , 1978* .
[8] HIPO - A Design Aid and Documentation Technique. *Form GC20-1851 IBM*
[9] JARON J.: Cele systemu, ich przestrzeń i realizacja - *Zeszyt "Formalne opisy systemów i ich zastosowania". Politechnika Wrocławska 1978* .
[10] KALMAN R.E., FALB P.L., ARBIB M.A.: Topics in Mathematical System Theory - *New York: McGraw-Hill 1969* .
[11] KONIECZNY R.: O pewnych konwencjach notacji algorytmów programów komputerowych - *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s.Transport nr 6, Gliwice 1988.*
[12] MESAROVIC M.D.: Matematyczna teoria systemów ogólnych - *tom "Ogólna teoria systemów" pod red. G.J. Klira, WNT, Warszawa 1976* .
[13] KONIECZNY R.,KRAWIEC S.: Wybrane zagadnienia opisu systemu złożonego - Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej, s.Transport nr 13/1989
[14] OREN T.I.: GEST: General System Theory Implementor. A Combined Digital Simulation Language - *Doctoral Dissertation, Uniwersity of Arizona, Tucson 1971* .
[15] SOKOŁOWSKI J., WYRZYKOWSKI W.: Definicja i opis formalny systemu transportowego. *Zagadnienia Transportu nr 1/2. PAN, Warszawa* 1977.
[16] WYMORE A.W.: Spleciona teoria systemów - *tom "Ogólna teoria systemów" pod red. G.J. Klira, WNT, Warszawa 1976* .
[17] ZEIGLER B.P.: Teoria modelowania i symulacji. *PWN, Warszawa 1984*
[18] БУСЛЕНКО Б.Н.: Моделирование сложных систем. Наука, Москва 1978
[19] БУСЛЕНКО В.Н.: Унификация описания имитационных моделей в человеко-машинных системах. Сборник научных трудов (Имитационное моделирование в организационно-технических системах). Воронежский политехнический институт. Воронеж 1982
[20] ВАВИЛОВ А.А. (общ. ред.): Имитационное моделирование производственных систем. Москва "Машиностроение" Берлин "Техника", 1983
[21] ИОФФЕ Л.Ш., КЛЕЙНЕР Г.Б., САДОВСКИЙ Л.Е.: Алгебраические методы в теории больших систем (информационных, транспортных, управляющих). Изд. МИИТ, Москва 1976.

SOME PROBLEMS OF DISCRETE SYSTEM EVENTS DESCRIPTION

Summary

An attempt to arrange basic concepts and definitions on Descrete Events System description has been made. Some aspects of informal description have been taken under consideration and then some of the basic concepts definitions have been presented for the formal description of Simple Discrete Events system has also been discussed as far as reaction scheme and interaction of the elements is concerned. Static structure and dynamic structure of the Discrete Events System has been presented verbally and the concept of this system has been defined.

The problems which have been presented are only e part of all the details connected with them, however they are relevant to formal description of Complex Discrete Events System and their application for software simulating in LOGLAN.

AUSGEWÄHLTE PROBLEME DER BESCHREIBUNG VON SYSTEMEN DER DYSCRETEN EREIGNISSE

Zusammenfassung

Im Aufsatz wurde ein Versuch vorgenommen, in die grundlegenden Begriffe und Difinitionen, die mit der Beschreibung von Systemen mit dyskreten Eregnissenverbunden sind, Ordnung zu bringen. Es wurden einige Aspekte der unformalen Beschreibung betrachtet und darauffolgend Definitionen grund legender Begriffe zur formalen Beschreibung von Systemen mit Dyskreten Ereignissen vorgestellt. Es wurden auch typische formale Beschreibung eines Einfachen Systems mit Dyskreten Ereignissen vorgestellt sowie Problematik des Einwirkensschemas und der Elementeninteraktion im betrachteten System besprochen. Es wurden verbal statische und dynamische Struktur des Systems mit Dyskreten Ereignissen präsentiert sowie Begriff derartiges Systems definiert.

Die im Aufsatz besprochene Thematik bildet lediglich einen Ausschnitt der Problematik, die mit der Beschreibung von Systemen mit Dyskreten Ereignissen verbunden ist. Nichtdestoweniger schafft sie Grundlagen zur Bildung formaler Beschreibung des Komplexsystems mit Dyskreten Ereignissen, das im Aspekt der Nutzlichkeit für die Projektierung der Symulationssoftware in der Sprache LOGLAN realisiert wurde.

ИЗБРАННЫЕ ВОПРОСЫ ОПИСАНИЯ СИСТЕМ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИИ

РЕЗЮМЕ

В статьи сделано попытку упорядочения основных понятии и определении связанных с описанием Систем Дискретных Событии. Рассмотрено некоторые особенности неформального описания а также представлено определения основных понятии формального описания Систем Дискретных Событии. Показано описание типичное формальное Простой Системы Дискретных Событии, а также рассмотрено схему взаимного влияния элементов в выше упомянутой Системе. Показано статическую и динамическую структуру Системы Дискретных Событии а также сформулировано определение этой системы.

Представлены в статьи проблемы хотя являются мелкой частницей вопросов связаных с описанием Систем Дискретиых Событии дают возможность получить формальное описание Системы Сложных Дискретных Событии реализованное для проектирования симуляционной программы на языке LOGLAN.