

KAWALEC Piotr, KOLIŃSKI Dariusz

INNOWACYJNA METODA SPECYFIKACJI I WERYFIKACJI FUNKCJI ZALEŻNOŚCIOWYCH W SYSTEMACH STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Streszczenie

W artykule omówiono zasadnicze ograniczenia wynikające z cech technologii mikroprocesorowej zastosowanej w urządzeniach srk. Następnie przedstawiono nową metodę formalnego opisu funkcji zależnościowych, z wykorzystaniem teorii grafów, analizy systemowej, rachunku macierzowego oraz teorii automatów. Uwzględniając uniwersalność obiektów, zdekomponowano je na rozłączne części, tak, aby każda z nich realizowała jedną z funkcji zależnościowych realizowanych przez obiekt. Przedstawione działania zilustrowano przykładami.

WSTĘP

System zależnościowy jest tą częścią systemu sterowania ruchem kolejowym (srk), która odpowiada za zapewnienie bezpieczeństwa ruchu pociągów. W systemie tym odbywa się ciągły proces realizacji zależności obejmujący:

- kontrolę stanu urządzeń i sytuacji ruchowej na stacji,
- generowanie poleceń sterujących dla sterowników wykonawczych,
- generowanie aktualnej wizualizacji stanu systemu dla personelu.

Proces ten można rozłożyć na elementarne funkcje sterujące, które dalej nazywane będą funkcjami zależnościowymi. Każda z nich opisuje fragment sterowania odnoszący się do pojedynczego zadania systemu zależnościowego.

Dynamiczny rozwój technologii mikroprocesorowej spowodował, że została ona zastosowana do sterowania produkcyjnymi procesami technologicznymi. Naturalnym następstwem stosowania komputerów i sterowników PLC w przemyśle, stało się ich zastosowanie w systemach srk. Łatwość implementacji w oprogramowaniu komputerów zależnościowych dowolnych układów torowych stacji oraz możliwość zaimplementowania nowych funkcji sterujących spowodowała, że od kilkunastu lat na modernizowanych stacjach instalowane są tylko komputerowe systemy srk. Z uwagi na wysokie wymagania niezawodnościowe, producenci systemów zależnościowych zaproponowali metody zapewnienia bezpieczeństwa, które zostały szeroko omówione w pracy [5]. Zagadnienia bezpieczeństwa były również przedmiotem prac w ramach projektów realizowanych przez UIC (Europejska Unia Kolejowa). W efekcie tych prac powstały normy EN 50126, EN 50128 i EN 50129 definiujące wymagania w zakresie niezawodności, dostępności, bezpieczeństwa systemów srk, rozpoczynając od okresu projektowania, przez instalację, odbiór, działanie, obsługę, aż do fazy ich modyfikacji lub rozbudowy.

Odmiennym zagadnieniem jest opis realizacji funkcji zależnościowych systemu zależnościowego w urządzeniach srk. Obecnie w Polsce realizacja funkcji zależnościowych zdefiniowana jest w postaci wymagań zapisanych w różnych dokumentach tj. rozporządzeniach, instrukcjach wewnętrznych zarządcy infrastruktury, publikacjach np. [1, 2]. Problem opisu realizacji zależności ujawnił się również w trakcie realizacji przez UIC projektu INES, w ramach którego planowano opracowanie jądra europejskiego systemu zależnościowego [6]. W ramach tego projektu realizację funkcji zależnościowych opisywano za pomocą stabelaryzowanych określeń lingwistycznych. Niestety nie udało się doprowadzić do zakończenia prac wg pierwotnych założeń UIC.

1. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Problem opisu funkcji zależnościowych w systemach srk nabrał szczególnego znaczenia wraz z zastosowaniem technologii mikroprocesorowej, albowiem po raz pierwszy pojawił się problem braku możliwości prześledzenia sposobu przetwarzania sygnałów pomiędzy wejściem a wyjściem. W starszych systemach srk realizowanych w technologii mechanicznej lub przekaźnikowej realizację zależności można było zweryfikować w oparciu o obserwację i analizę elementów w każdym cyklu sterowania. Stąd te systemy zależnościowe były obiektami przewidywalnymi a logika sterowania była zaimplementowana w ich wewnętrznej strukturze. W technice mikroprocesorowej system srk stał się obiektem integrującym uniwersalny sprzęt i dedykowane oprogramowanie. Naturalną cechą takiego rozwiązania jest brak możliwości analizy na poziomie sprzętu. Nie możliwe jest również przeprowadzenie analizy pokazującej przetwarzanie sygnałów wejściowych na sygnały wyjściowe. W praktyce problem potwierdzenia poprawności zaprojektowanych systemów srk rozwiązano poprzez przeprowadzanie funkcjonalnych testów fabrycznych. Jednakże w tym przypadku nie ma możliwości poznania zmian zachodzących w każdym kroku obliczeniowym lub grupie kroków. Możliwa jest jedynie obserwacja zmian na wyjściach zaistniałych po wprowadzeniu sygnałów na wejściach. Przy czym obserwowalny jest końcowy efekt przetwarzania. Systemy komputerowe o takich cechach traktuje się jak „czarne skrzynki”.

Ważnym zagadnieniem realizacji funkcji zależnościowych jest ich współzależność i współbieżność przetwarzania. Mikroprocesorowe systemy srk nie mają takich możliwości ze względu na sekwencyjne pobieranie informacji o stanie elementów wykonawczych oraz sekwencyjne przetwarzanie tych informacji. Dlatego często tworząc współczesne opisy formalne funkcji zależnościowych orientuje się je na technologię mikroprocesorową. Wynika to z konieczności zdefiniowania kolejności wyznaczania zmiennych stanu pamięci, które są wzajemnie zależne. Rozwiązaniem tego problemu jest podzielenie procesu obliczeniowego na dyskretne kroki realizowane w kolejnych przedziałach czasu [7, s. 56].

Kolejnym zagadnieniem na które należy zwrócić uwagę jest rozpatrywanie wykluczeń (sprzeczności) na poziomie przebiegów. Co prawda już w technologii przekaźnikowej wprowadzono możliwość podziału przebiegu na sekcje¹, jednakże relacje sprzeczności rozpatrywane były na poziomie przebieg – sekcja innego przebiegu. Dostępne dziś środki technologiczne pozwalają na wykrywanie sprzeczności już na poziomie relacji pomiędzy pojedynczymi obiektami. Dzięki temu możliwe jest wykrywanie sprzeczności już na etapie rezerwowania i wybierania elementów przebiegu. Zatem działanie to może być przeniesione z systemu zależnościowego do warstwy nadrzędnej.

Rozwiązaniem eliminującym przedstawione problemy dotyczące systemu zależnościowego, jest odwzorowanie funkcji zależnościowych w postaci automatów skończonych, co pozwoli analizować zachowanie zachowania systemu.

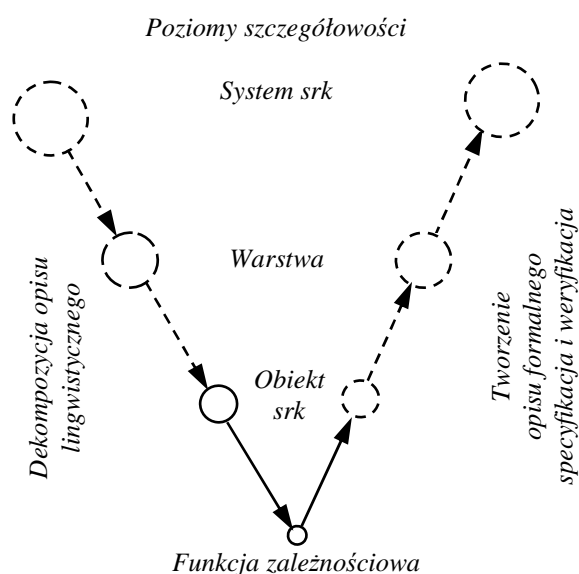
¹ Sekcja to zbiór kilku kolejnych elementów układu torowego stacji tj. zwrotnice, wykolejnice.

2. ZAŁOŻENIA DO OPISU FORMALNEGO

System srk jest bardzo rozbudowanym systemem do opisu którego przygotowywane są takie dokumenty jak:

- plan schematyczny,
- tablica zależności,
- schemat powiązań układu torowego i obiektów.

Reguły dotyczące tworzenia powyższych dokumentów oraz opisy warstw i zasady odzwierciedlenia warstwy zależnościowej w postaci obiektów² zawarte są w pracy [4 s. 36-40]. Niniejszy artykuł zawiera opis na poziomie obiektu i funkcji zależnościowej. W oparciu o ww. dokumenty oraz obowiązujące wymagania prawne należy przygotować behawioralny opis lingwistyczny. Z tego opisu możliwe jest wykonanie dekompozycji opisu obiektu metodą od ogółu do szczegółu rys.1.



Rys. 1. Przebieg dekompozycji opisów oraz weryfikacji i specyfikacji

Źródło: opracowanie własne

3. OPIS FORMALNY

Każdy obiekt odzwierciedlony w systemie zależnościowym współpracuje za pośrednictwem interfejsów z elementami układu torowego lub elementami srk w terenie. Dla każdego z tych elementów możemy wyróżnić dwa zbiory zmian zachodzących w tych elementach: zbiór zmian obserwowalnych z zewnątrz i zbiór zmian nie obserwowalnych. Funkcje zależnościowe związane z tymi zbiorami zostały nazwane odpowiednio funkcjami rzeczywistymi i nierzeczywistymi. Zatem funkcja sterowań obiektu jest sumą funkcji rzeczywistych i nierzeczywistych, co można zapisać jako

$$f_{Ob} = \bigcup f_{rzecz} \cup \bigcup f_{nierzecz} \quad (1)$$

² Pod pojęciem obiektu należy rozumieć logiczne odwzorowanie elementów układu torowego i elementów srk tj: odcinek torowy, zwrotnica, wykołajnica, przejazd, sygnalizator, blokada liniowa.

gdzie:

- f_{Ob} – funkcja sterowań obiektu,
- f_{rzecz} – funkcja sterowań rzeczywistych,
- $f_{nierzecz}$ – funkcja sterowań nierzeczywistych.

Zmiany sterowań w obiekcie srk wynikają z jego obecnego stanu oraz zachodzących zmian zewnętrznych. Zatem do opisu sterowań w obiekcie można:

- wykorzystać metody stosowane do opisu układów logicznych i cyfrowych,
- odwzorować w postaci grafu automatu skończonego każdą zdekomponowaną funkcję zależnościową rzeczywistą lub nierzeczywistą.

Odwzorowanie funkcji zależnościowej w postaci automatu można zapisać jako

$$A^j \equiv f^j \quad (2)$$

gdzie:

- A^j – j-ty automat,
- f^j – j-ta funkcja sterująca (rzeczywista lub nierzeczywista),

Ogólnym modelem matematycznym opisu układów jest opis za pomocą automatu skończonego z pamięcią [3, s. 24]. Zatem, system zależnościowy AT można opisać jako

$$AT = \bigcup_{j=1}^m \bigcup_{i=1}^n A_i^j \quad (3)$$

gdzie:

- AT – zależnościowy system sterowania ruchem kolejowym (zbiór automatów systemu srk),
- A^j – automat j-tej funkcji sterującej (rzeczywistej lub nierzeczywistej),
- n – liczba automatów funkcji sterującej o tym samym atrybucie,
- m – liczba atrybutów automatów funkcji sterujących.

Zgodnie z definicją automatu skończonego Moore'a z pamięcią, opisujemy go jako piątkę uporządkowaną

$$A^j = (X^j, S^j, Y^j, \delta^j, \lambda^j) \quad (4)$$

gdzie:

- $X^j = \{x_1^j, x_2^j, \dots, x_g^j\}$ – zbiór liter wejściowych (alfabet wejściowy) dla j-tego automatu,
- $S^j = \{s_1^j, s_2^j, \dots, s_h^j\}$ – zbiór stanów wewnętrznych (alfabet wewnętrzny) dla j-tego automatu,
- $Y^j = \{y_1^j, y_2^j, \dots, y_t^j\}$ – zbiór liter wyjściowych (alfabet wyjściowy) dla j-tego automatu,
- δ^j – funkcja przejść dla j-tego automatu,
- $\lambda^j : D_\lambda^j \rightarrow Y^j$ – funkcja wyjść dla j-tego automatu,
- $D_\delta^j \subseteq X^j \times S^j$,
- $D_\lambda^j \subseteq S^j$.

Zbiór liter wejściowych dla automatu składa się z trzech zbiorów:

- zbioru liter wejściowych wewnętrznych pochodzących z wyjść innych funkcji tego samego obiektu,
- zbioru liter wejściowych zewnętrznych pochodzących z warstwy nadrzędnej,
- zbioru liter wejściowych zewnętrznych pochodzących z warstwy wykonawczej.

Zbiór liter wejściowych można przedstawić w postaci sumy trzech rozłącznych zbiorów

$$X^j = X_w^j \cup X_{zwn}^j \cup X_{zww}^j \quad (5)$$

$$X_w^j \cap X_{zwn}^j = \phi \wedge X_w^j \cap X_{zww}^j = \phi \wedge X_{zwn}^j \cap X_{zww}^j = \phi \quad (6)$$

gdzie:

X_w^j – zbiór liter wejściowych wewnętrznych automatu pochodzących z wyjść innych funkcji tego samego obiektu,

X_{zwn}^j – zbiór liter wejściowych zewnętrznych automatu pochodzących z warstwy nadrzędnej,

X_{zww}^j – zbiór liter wejściowych zewnętrznych automatu pochodzących z warstwy wykonawczej.

3.1. Opis formalny na poziomie grafu automatu

Do opisu funkcji sterujących wykorzystano automat Moore'a, ponieważ zbiór stanów wewnętrznych automatu jest tożsamy ze zbiorem wierzchołków grafu a wektor wyjściowy zależy tylko od stanu, w którym znajduje się automat, co zapisujemy

$$Y_r^j = \lambda^j(S_r^j) \quad (7)$$

gdzie:

Y_r^j – jest wektorem wyjściowym dla j-tego automatu w stanie r,

λ^j – jest funkcją wyjść dla j-tego automatu,

S_r^j – jest stanem wewnętrznym r j-tego automatu.

Przejście ze stanu S_k (wierzchołka S_k) do stanu S_r (wierzchołka S_r) pod wpływem pobudzenia p_{kr} odpowiada tranzycji łączącej stan S_k ze stanem S_r , opisanej pobudzeniem p_{kr} , co można zapisać w postaci

$$S_r^j = \delta^j(X_k^j, p_{kr}^j) \quad (8)$$

gdzie:

p_{kr}^j – jest pobudzeniem dla przejścia ze stanu S_k do S_r dla j-tego automatu.

Natomiast macierz pobudzeń dla grafu automatu będzie iloczynem Hadamarda (iloczynem po współrzędnych), opisanym wzorem

$$P^j = T^j \cdot W^j \quad (9)$$

gdzie:

P^j – jest macierzą pobudzeń dla j-tego automatu,

T^j – jest macierzą istnienia tranzycji dla j-tego automatu, w której 1 oznacza istnienie tranzycji a, 0 oznacza nie istnienie tranzycji,

W^j – jest macierzą warunków opisujących tranzycje dla j-tego automatu.

Natomiast pojedyncze pobudzenie jest opisane jako

$$p_{kr}^j = t_{kr}^j \cdot w_{kr}^j \quad (10)$$

gdzie:

- p_{kr}^j – jest pobudzeniem dla przejścia ze stanu S_k do S_r dla j-tego automatu,
- t_{kr}^j – jest opisem istnienia tranzycji ze stanu S_k do S_r dla j-tego automatu,
- w_{kr}^j – jest warunkiem przejścia ze stanu S_k do S_r dla j-tego automatu.

Zatem funkcja przejść przyjmuje postać

$$\Delta^j = \begin{bmatrix} (t_{11}^j \cdot w_{11}^j) & (t_{12}^j \cdot w_{12}^j) & \dots & (t_{1h}^j \cdot w_{1h}^j) \\ (t_{21}^j \cdot w_{21}^j) & (t_{22}^j \cdot w_{22}^j) & \dots & (t_{2h}^j \cdot w_{2h}^j) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (t_{h1}^j \cdot w_{h1}^j) & (t_{h2}^j \cdot w_{h2}^j) & \dots & (t_{hh}^j \cdot w_{hh}^j) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Powyższa macierz będzie zawsze macierzą kwadratową $h \times h$ o następujących cechach:

- wektor zbudowany z elementów dowolnego wiersza p opisuje warunki przejścia ze stanu p (wierzchołka p) do wszystkich stanów automatu (wierzchołków grafu),
- wektor zbudowany z elementów dowolnej kolumny q opisuje warunki przejścia ze wszystkich stanów automatu do stanu q ,
- wektor zbudowany z elementów leżący na przekątnej macierzy poczynając od elementu 11 do elementu hh opisuje warunki pozostawania w poszczególnych stanach automatu.

W systemie zależnościowym ważnym zagadnieniem jest uwzględnienie wszystkich warunków określających przejścia ze stanu S_k do innych stanów automatu. Po określeniu tych warunków przejść konieczne jest określenie warunku pozostawania w tym samym stanie. Warunek pozostawania w tym samym stanie jest negacją sumy warunków przejść do stanów poprzedzających stan rozpatrywany oraz warunków przejść do stanów następnym po rozpatrywanym stanie, co zapisujemy w następujący sposób

$$\forall_{\substack{k=r \\ k,r \in S}} w_{kr} = \overline{\bigcup_{r=1}^{k-1} w_{kr} \cup \bigcup_{r=k+1}^d w_{kr}} \quad (12)$$

Jeżeli istnieje tranzycja pomiędzy dwoma dowolnymi stanami automatu k i r , to istnieje tylko jeden warunek opisujący przejście pomiędzy tymi stanami.

$$t_{kr}^j = 1 \Rightarrow \exists! w_{kr} \in W \quad (13)$$

Ostatnim istotnym elementem dla opisu funkcji zależnościowej w postaci automatu jest ustalenie kolejności rozpatrywania warunków przejść (w_{kr}^j) przypisanych tranzycjom wychodzącym ze stanu k . Każdej tranzycji przypisywana jest liczba (nazywana priorytetem) oznaczająca kolejność rozpatrywania przypisanego jej warunku. Im niższa jest liczba, tym wyższy jest priorytet warunku. Macierzy priorytetów dla automatu nie da się utworzyć bezpośrednio z opisu słownego. Zapisy prawne oraz publikacje z tego zakresu pomijają to

zagadnienie. W opracowanej metodzie do określenia priorytetów przejść zastosowano zasady projektowania urządzeń srk mówiące, że urządzenie srk po:

- pojawieniu się awarii powinno najpóźniej w pierwszym możliwym cyklu sterowania przejść do stanu bezpiecznego,
- uruchomieniu znajduje się w stanie bezpiecznym, który należy rozumieć jako stan początkowy.

Kolejność rozpatrywania (realizacji) warunków przejść jest opisana liczbami naturalnymi uszeregowanymi rosnąco. Liczby w każdym wierszu porządkują kolejność sprawdzania warunków przejścia ze stanu odpowiadającego numerowi wiersza do pozostałych stanów automatu. Cechami charakterystycznymi macierzy priorytetów przejść są następujące reguły:

- macierz jest kwadratowa o liczbie wierszy i kolumn równiej liczbie stanów.
- zbiór liczb w wierszu nie może zawierać tych samych liczb,
- na przekątnej występuje największa liczba.

Przykładowa macierz priorytetów dla grafu z sześcioma stanami może mieć postać

$$\mathbf{P} = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 6 & 1 & 2 & 5 & 3 & 4 \\ 1 & 6 & 3 & 4 & 2 & 5 \\ 1 & 3 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 3 & 1 & 5 & 6 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 3 & 6 & 1 \\ 5 & 4 & 1 & 2 & 3 & 6 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (14)$$

Ustalenie priorytetów ma istotne znaczenie przy implementacji funkcji zależnościowych, albowiem przy naturalnym przejściu do sieci działań algorytmu lub graficznego schematu algorytmu (GSA) ważne jest ustalenie kolejności rozmieszczenia klatek zawierających warunki i operacje.

4. ZASTOSOWANIE OPRACOWANEJ METODY

4.1. Zdefiniowane funkcje

Dla odzwierciedlenia systemu zależnościowego w pracy [4 s. 40] zdefiniowano zbiór obiektów. W każdym obiekcie zdefiniowano jego cechy funkcjonalne a następnie stosując dekompozycję wyodrębniono 39 funkcji zależnościowych. Funkcje te pozwalają na odwzorowanie wszystkich obiektów tworzących system srk. W zapisie symbolicznym funkcji litera to symbol obiektu a indeks górny oznacza numer funkcji w obiekcie. Opracowane funkcje zależnościowe zestawiono w Tab. 1, z uwzględnieniem rozróżnienia na funkcje rzeczywiste i nierzeczywiste.

Tab. 4. Opracowane funkcje zależnościowe po dekompozycji obiektów

Nazwy funkcji rzeczywistych	Symbol	Nazwy funkcji nierzeczywistych	Symbol
Odcinek torowy krótki (bez prawa postoju) J			
Kontrola niezajętości odcinka torowego	J^1	Utwardzenie odcinka torowego	J^2
		Zamknięcie odcinka torowego	J^3
Odcinek torowy długi (z prawem postoju) L			
Kontrola niezajętości odcinka torowego	$L^1=J^1$	Utwardzenie odcinka torowego	L^2
		Zamknięcie odcinka torowego	$L^3=J^3$
Skrzyżowanie torów T			
Kontrola niezajętości skrzyżowania torów	$T^1=J^1$	Utwardzenie skrzyżowania torów	T^2
		Zamknięcie skrzyżowania torów	$T^3=J^3$
Rozjazd zwyczajny Z			
Kontrola niezajętości odcinka zwrotnicy	$Z^1=J^1$	Utwardzenie rozjazdu	Z^3
Kontrola położenia zwrotnicy	Z^2	Utwardzenie rozjazdu w drodze ochronnej	Z^4
		Utwardzenie rozjazdu w ochronie bocznej	Z^5
		Stopowanie położenia zwrotnicy	Z^6
		Zamknięcia rozjazdu	$Z^7=J^3$
		Lokalne przestawianie zwrotnicy	Z^8
Wykolejnica W			
Kontrola niezajętości odcinka torowego	$W^1=J^1$	Utwardzenie wykolejnicy	W^3
Kontrola położenia wykolejnicy	W^2	Utwardzenie wykolejnicy w drodze ochronnej	W^4
		Utwardzenie wykolejnicy w ochronie bocznej	W^5
		Stopowanie wykolejnicy	$W^6=Z^6$
		Zamknięcie wykolejnicy	$W^7=J^3$
		Lokalne przestawianie wykolejnicy	Z^8
Rozjazd krzyżowy K			
Kontrola niezajętości odcinka zwrotnicowego	$K^1=J^1$	Utwardzenie rozjazdu	K^4
Kontrola położenia zwrotnicy ab	K^2	Utwardzenie rozjazdu w drodze ochronnej	K^5
Kontrola położenia zwrotnicy cd	$K^3=K^2$	Utwardzenie zwrotnicy ab w ochronie bocznej	K^6
		Utwardzenie zwrotnicy cd w ochronie bocznej	$K^7=K^6$
		Stopowanie zwrotnicy ab	$K^8=Z^6$
		Stopowanie zwrotnicy cd	$K^9=Z^6$
		Zamknięcie rozjazdu	$K^{10}=J^3$
		Lokalne przestawianie zwrotnicy ab	K^{11}
		Lokalne przestawianie zwrotnicy cd	$K^{12}=K^{11}$
Semafor S			
Kontrola światła górnego	S^1	Stopowanie semafora	S^7
Kontrola światła dolnego	S^2	Przebieg pociągowy	S^8
Kontrola wskaźników W19 i W20	S^3	Przebieg manewrowy	S^9
Kontrola wskaźników W24 i W26	S^4		
Wyświetlanie sygnałów	S^5		
Sygnal zastępczy	S^6		
Tarcza manewrowa M			
Kontrola świateł tarczy manewrowej	M^1	Stopowanie tarczy manewrowej	$M^3=S^7$
Wyświetlanie sygnałów tarczy manewrowej	M^2	Przebieg manewrowy	$M^4=S^9$
Blokada liniowa B			
Kontrola niezajętości odstępu blokady	$B^1=J^1$	Stopowanie wyjazdu na szlak	B^3
Kontrola kierunku	B^2		
Kontrola światła górnego następnego semafora	$B^4=S^1$		
Kontrola światła dolnego następnego semafora	$B^5=S^2$		
Przejazd P			
Kontrola położenia przejazdu	P^1	Utwardzenie przejazdu	P^2

Źródło: opracowanie własne

4.2. Opis formalny funkcji kontroli niezajętości odcinka torowego (J^1)

Utworzenie opisu formalnego dla funkcji kontroli niezajętości odcinka torowego wymaga wykonania działań określonych w rozdziale 3. Pierwszym krokiem jest określenie zmiennych wejściowych funkcji J^1

$$\mathbf{X}^{J^1} = \{ JT, Uszkodzenie \} \quad (15)$$

Zbiory zmiennych wejściowych wewnętrznych, wejściowych zewnętrznych oraz zmiennych pochodzących z warstwy nadrzędnej dla funkcji J^1 są następujące

$$\mathbf{X}_w^{J^1} = \phi \quad (16)$$

$$\mathbf{X}_{zwn}^{J^1} = \{ JT, Uszkodzenie \} \quad (17)$$

$$\mathbf{X}_{zww}^{J^1} = \phi \quad (18)$$

Zbiór stanów wewnętrznych obejmuje stany

$$\mathbf{S}^{J^1} = \{ Wolny, Zajęty, Uszkodzony \} \quad (19)$$

Zbiór wartości wyjściowych ma postać

$$\mathbf{Y}_w^{J^1} = \mathbf{JT_stan} = \{ 1, 0, 0 \} \quad (20)$$

Istnienie tranzycji pomiędzy stanami jest opisane macierzą

$$\mathbf{T}^{J^1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Warunki opisujące tranzycje zostały zapisane z wykorzystaniem algebry Boole'a, z zachowaniem zasady, że wartość logiczna warunku wynosząca 1 pozwala na przejście zgodnie z opisywaną tranzycją. Macierz ta przyjmuje postać

$$\mathbf{W}^{J^1} = \begin{bmatrix} \sim (JT \wedge Uszkodzenie) & \sim JT & \sim Uszkodzenie \\ JT \wedge \sim Uszkodzenie & \sim (JT \vee Uszkodzenie) & Uszkodzenie \\ 0 & \sim Uszkodzenie & Uszkodzenie \end{bmatrix} \quad (22)$$

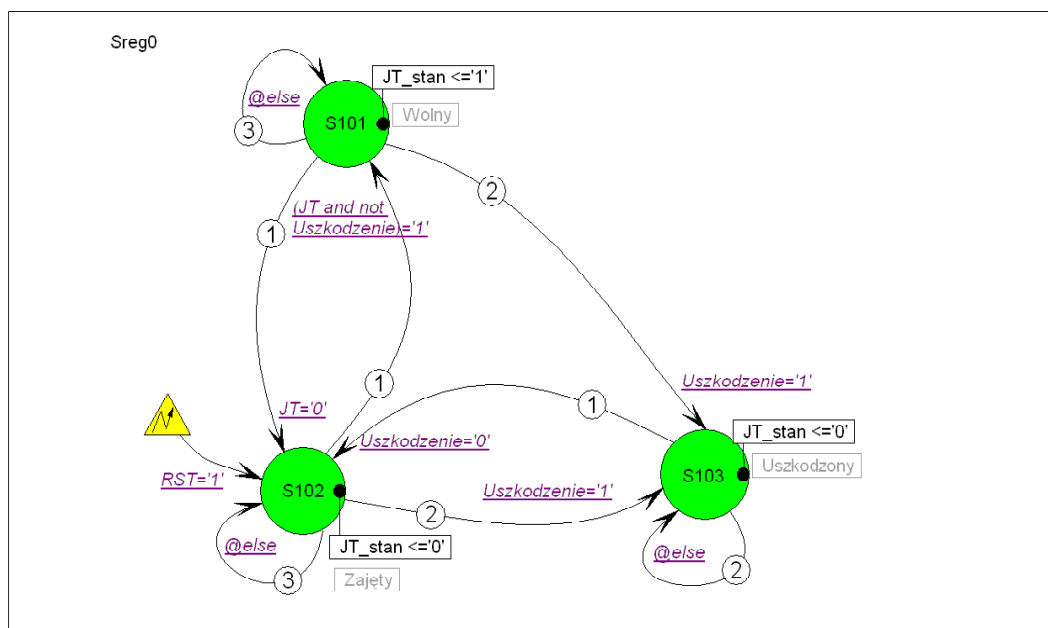
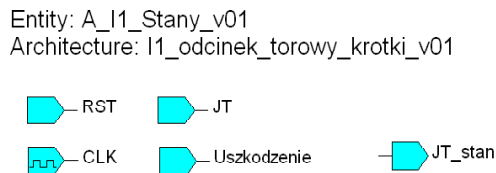
Priorytety tranzycji opisuje macierz

$$\mathbf{P}^{J^1} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 2 \\ - & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Z przygotowanych opisów formalnych możliwe jest wyspecyfikowanie grafów automatów.

4.3. Specyfikacja grafu funkcji kontroli niezajętości odcinka torowego

Po narysowaniu grafu przejść opisano łuki grafu stosując zapis literałów w odpowiedniej postaci odpowiadający macierzy **Wj**. W tym miejscu ze względu na wymagania programu symbole sumy, iloczynu, negacji zostały zastąpione odpowiednio operatorami *or*, *and*, *not*. Następnie łukom przypisano priorytety zgodnie z macierzą priorytetów, co porządkuje kolejność sprawdzania warunków przypisanych tym łukom. W ostatnim kroku przypisano w każdym stanie wartości funkcji wyjść.

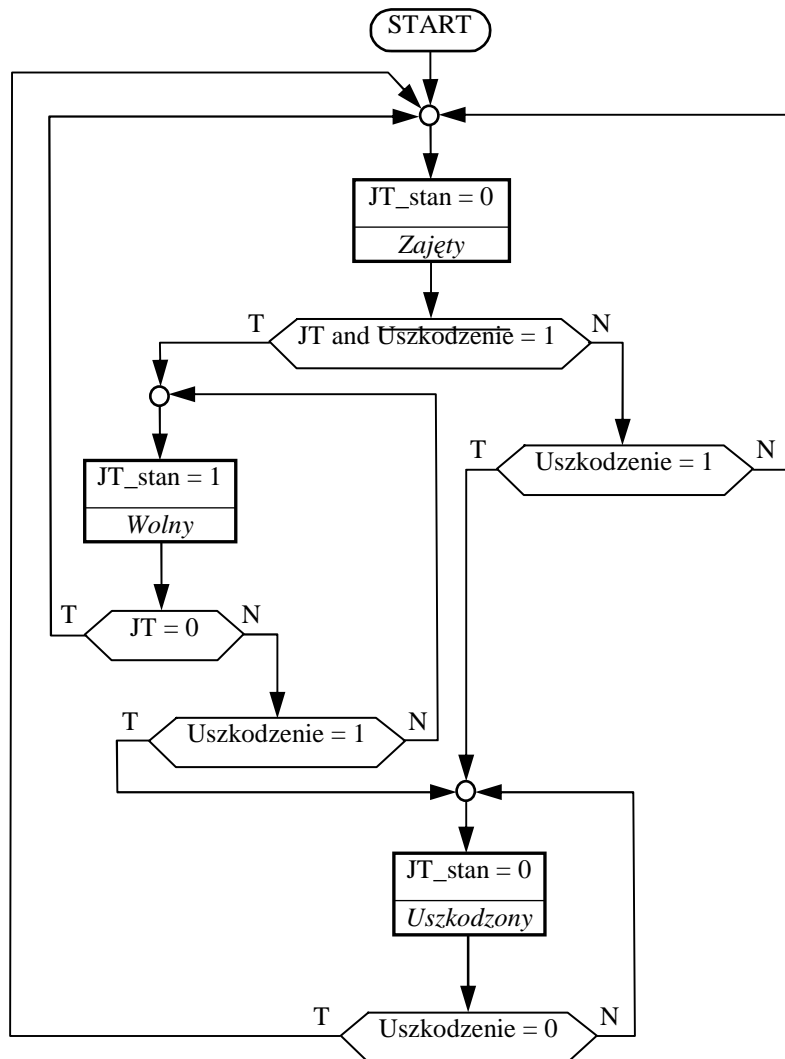


Rys. 2. Graf automatu funkcji kontroli niezajętości odcinka torowego (J^1)
Źródło: opracowanie własne

4.4. Graficzna sieć algorytmu dla funkcji kontroli niezajętości odcinka torowego

Realizacja mikroprocesorowa jest niezależna od wybranego sprzętu, zatem w tym przypadku zasadniczym zagadnieniem jest przygotowanie modułów programowych, tak, aby nie orientować realizacji mikroprocesorowej na język programowania. W taki sposób przygotowana została GSA, która może posłużyć do napisania modułu programowego odpowiadającego funkcji kontroli niezajętości toru. Opracowany formalny opis funkcji zależnościowej przedstawiony w punkcie 4.2 pozwala w prosty sposób przejść do GSA, albowiem zbiór stanów jest tożsamy ze zbiorem klatek operacyjnych. Natomiast elementy macierzy przejść odpowiadają klatkom warunkowym, przy czym rozmieszczenie klatek warunkowych powinno być zgodne z macierzą priorytetów.

W praktyce przygotowując moduł programowy funkcji zależnościowej należy wyspecyfikować zmienne wejściowe i wyjściowe stosownie do wymagań języka programowania. Do opisu warunków należy stosować reguły algebry Boole'a oraz właściwe operatory.



Rys. 3. Sieć sterowania GSA dla funkcji kontroli niezajętości odcinka toru (J^1)
 Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

W pracy zaproponowana została nowatorska metoda opisu formalnego funkcji zależnościowych, która pozwala na zdefiniowanie sposobu wysterowania poszczególnych obiektów systemu srk do wymaganych położeń. Zaprezentowano również zestawienie wszystkich opracowanych funkcji zależnościowych. Wszystkie funkcje mają postać elementów biblioteczných, z których można odwzorowywać obiekty. Na kolejnym poziomie hierarchii obiekty te są elementami bibliotecznymi do odwzorowania systemu zależnościowego. Potwierdzone opisy formalne zostały zilustrowane w postaci grafu automatu skończonego oraz graficznej sieci algorytmu na przykładzie funkcji kontroli niezajętości odcinka torowego. Zaprezentowane przykłady potwierdzają uniwersalność opracowanej metody opisu formalnego.

BIBLIOGRAFIA

1. Dąbrowa-Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wspomaganie, zarys techniki*. Wydanie 2 poprawione. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007 r.
2. Dąbrowa-Bajon M., Karbowski H., Grochowski K.: *Zasady projektowania systemów i urządzeń sterowania ruchem kolejowym*. WKŁ, Warszawa, 1981 r.

3. Kawalec P.: *Analiza i synteza specjalizowanych układów modelowania i sterowania ruchem w transporcie*. Politechnika Warszawska, Prace Naukowe – Transport, z. 68, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009 r.
4. Koliński D.: *Formalny opis funkcji zależnościowych systemów srk dla współczesnych posterunków ruchu*. Politechnika Warszawska, Prace Naukowe – Transport, z. 86, OWPW, Warszawa, 2012, str. 35 – 52.
5. Lewiński A.: *Problemy oprogramowania bezpiecznych systemów komputerowych w zastosowaniach transportu kolejowego*. Politechnika Radomska, Monografie Nr 49, Radom, 2001 r.
6. Strona UIC: www.uic.org/download.php/publication/505_05E.pdf
7. Zabłocki W.: *Modelowanie stacyjnych systemów sterowania ruchem kolejowym*. Politechnika Warszawska, Prace Naukowe – Transport, z. 65, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008 r.

INNOVATIVE DESIGN AND VERIFICATION METHOD FOR INTERLOCKING FUNCTIONS IN RAILWAY TRAFFIC CONTROL SYSTEMS

Abstract

The paper presented general limitations of microprocessor technology used nowadays in railway control systems. Then a new formal description method for interlocking functions was developed using graphs theory, system analysis, matrix formulae and automata theory. Considering versatility of objects they were decomposed into separate parts, so that every part executes a single interlocking function. The design process was shown on several examples.

Autorzy:

prof. nzw. dr hab. inż. **Piotr Kawalec** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu,
pka@wt.pw.edu.pl

mgr inż. **Dariusz Koliński** – Egis Poland Sp. z o.o., d.kolinski@egis-poland.com