

Jerzy MIKULSKI

Krzysztof ZYCH

OPIS FORMALNY OBIEKTÓW STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Streszczenie. W artykule przedstawiony został usystematyzowany opis formalny obiektów sterowania ruchem kolejowym (elementy układu torowego, urządzenia srk) oraz podstawowych procesów srk przeznaczony na potrzeby modelowania ruchu pociągów ze szczególnym uwzględnieniem procesów zachodzących na stacji oraz tworzenia opisów komputerowych systemów sterowania. Do opisu wykorzystano elementy teorii mnogości oraz algebry Boole'a.

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Резюме. В статье представлено систематизированное форменное описание объектов управления (элементы путевого розвита, устройства управления) и начальных процессов управления железнодорожным движением предназначено к моделированию движения поездов, особенно процессов происходящих на станции а также создания компьютерных описаний системов управления. В описании использовано элементы теории множеств а также булевой алгебры.

A FORMAL DESCRIPTION OF RAILWAY TRAFFIC CONTROL DEVICES

Summary. The paper discusses the formal systematized description of the railway traffic control units (railway track elements, control units) and basic railway traffic control processes.

Automatyczne projektowanie układów sterowania wymaga takiego formułowania zadań projektowych, aby możliwe było ich algorytmiczne rozwiązanie. Z tego względu niezbędne jest wprowadzenie formalnego opisu obiektów będących przedmiotem projektowania. W przypadku systemów sterowania ruchem kolejowym obiekty takie można opisać wprowadzając zbiory podstawowych elementów i urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Podstawy takiego opisu można znaleźć w [1]. Poniżej przedstawiono uporządkowany opis obiektów sterowania ruchem kolejowym, uzupełniony opisem funkcji stanu obiektów sterowania.

■ Zbiór kontrolowanych odcinków toru

$$T = \{t_i \mid i = 1, 2, \dots, lt\}$$

gdzie: lt - liczba odcinków kontrolowanych,

w którym można wyróżnić następujące podzbiory

- podzbiór stacyjnych odcinków toru $T_s \mid T_s \subset T$,
- podzbiór szlakowych odcinków toru $T_{sz} \mid T_{sz} \subset T$.

Podzbiór stacyjnych odcinków toru można podzielić na:

- podzbiór odcinków torowych $T_t \mid T_t \subset T_s$,
- podzbiór odcinków zwrotnicowych $T_z \mid T_z \subset T_s$.

Dodatkowo w zbiorze stacyjnych odcinków torowych ze względu na specyfikę prowadzenia ruchu manewrowego można wyróżnić:

- podzbiór odcinków torowych krótkich $T_k \mid T_k \subset T_s$,
- podzbiór odcinków torowych długich $T_d \mid T_d \subset T_s$.

■ Zbiór zwrotnic:

$$Z = \{z_i \mid i = 1, 2, \dots, lz\}$$

gdzie: lz - liczba zwrotnic na stacji,

w którym można wyróżnić następujące podzbiory

- podzbiór rozjazdów zwyczajnych $Z_0 \mid Z_0 \subset Z$,
- podzbiór rozjazdów krzyżowych pojedynczych $Z_1 \mid Z_1 \subset Z$,
- podzbiór rozjazdów krzyżowych podwójnych $Z_2 \mid Z_2 \subset Z$.

Ze względu na to, że we współczesnych układach torowych unika się stosowania wykolejnic, mogą być one ewentualnie traktowane jako elementy zbioru zwrótnic.

- Zbiór bezzwrotnicowych skrzyżowań torów:

$$K = \{k_i \mid i = 1, 2, \dots, lk\}$$

gdzie: lk - liczba skrzyżowań bezzwrotnicowych,

- Zbiór sygnalizatorów:

$$S = \{s_i \mid i = 1, 2, \dots, ls\}$$

gdzie: ls - liczba sygnalizatorów,

w którym można wyróżnić następujące podzbiory

- podzbiór sygnalizatorów pociągowych $S^p \mid S^p \subset S$,

do którego należą:

- semafor $S_s^p \mid S_s^p \subset S^p$,
- sygnalizatory powtarzające $S_p^p \mid S_p^p \subset S^p$,
- tarcze ostrzegawcze $S_o^p \mid S_o^p \subset S^p$.

- podzbiór sygnalizatorów manewrowych $S^m \mid S^m \subset S$.

- Zbiór samoczynnych blokad liniowych:

$$B = \{b_i \mid i = 1, 2, \dots, lb\}$$

gdzie: lb - liczba samoczynnych blokad liniowych.

FUNKCJE STANU OBIEKTÓW

W celu określenia stanu przedstawionych obiektów sterowania ruchem kolejowym wygodne jest wprowadzenie funkcji określających rzeczywiste stany urządzeń:

- Funkcja określająca stan odcinka kontrolowanego (kontrola zajetości):

$$Z_o(t_i)$$

dla $t_i \in T$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$Z_o(t_i) = 1$ - gdy odcinek kontrolowany jest wolny,

$Z_o(t_i) = 0$ - gdy odcinek kontrolowany jest zajęty.

- Funkcja określająca stan zwrotnicy (położenie zwrotnicy):

$$P_r(z_i)$$

dla $z_i \in Z$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$P_r(z_i) = 0$ - zwrotnica z_i jest ustawiona w położeniu „na wprost”,

$P_r(z_i) = 1$ - zwrotnica z_i jest ustawiona w położeniu „na odgałęzienie”.

- Funkcje określające stan sygnalizatorów

W uniwersalnym (umożliwiającym wyświetlenie wszystkich sygnałów dopuszczonych przepisami E1 [3] sygnalizatorze świetlnym można wyróżnić trzy zasadnicze grupy świateł:

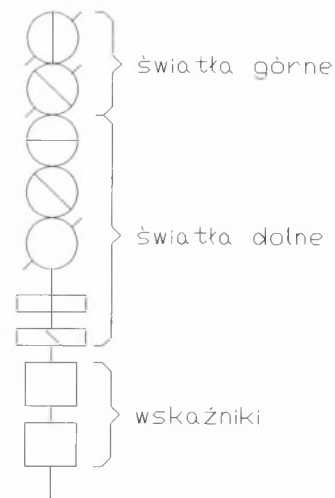
- światła górne - wyświetlające sygnały informujące o wymaganej prędkości jazdy na odcinku osłanianym najbliższym semaforem za rozważanym sygnalizatorem (semafor, tarcza ostrzegawcza, sygnalizator powtarzający),
- światła dolne - wyświetlające sygnały informujące o wymaganej prędkości jazdy na odcinku osłanianym rozważanym sygnalizatorem (tylko w przypadku semafora),
- wskaźniki - wyświetlane łącznie z sygnałem zezwalającym, a określające specyfikę ruchu za sygnalizatorem.

Sygnały wyświetlane przez światła górne umożliwiają czterostopniową sygnalizację prędkości jazdy. Sygnał, jaki może być wyświetlany za pomocą górnych świateł, można opisać funkcją:

$$S_g(s_i)$$

dla $s_i \in S$

Sposób kodowania sygnałów wyświetlanych za pomocą górnych świateł wraz z odpowiadającymi im wartościami funkcji $S_g(s_i)$ (reprezentacja binarna wyświetlanych sygnałów) przedstawia tablica 1 (pozostałe stany są niedopuszczalne).



Rys.1. Semafor

Fig.1. Semaphore

Tablica 1

Sposób kodowania sygnałów wyświetlanych za pomocą górnych świateł sygnalizatora

Oznaczenie	$S_g(s_i)$	z_g	p_g	im_g
N	0	0	0	0
V_0	2	0	1	0
$V_{40/60}$	3	0	1	1
V_{100}	5	1	0	1
V_{max}	4	1	0	0

z_g - światło zielone górne,

p_g - światło pomarańczowe górne,

im_g - impulsator świateł górnych.

Litera "N" oznacza, że informacja o prędkości na odcinku osłanianym następnym sygnalizatorem nie jest wyświetlana (dotyczy przypadku semafora wskazującego sygnał "STÓJ").

Sygnaly wyświetlane przez światła dolne umożliwiają pięciostopniową sygnalizację prędkości jazdy, wyświetlenie sygnału zastępczego i sygnału Ms2 „Jazda manewrowa dozwolona”. Sygnał, jaki może być wyświetlany za pomocą dolnych światel, można opisać funkcją:

$$S_d(s_i)$$

dla $s_i \in S$

Sposób kodowania sygnałów wyświetlanych za pomocą dolnych światel wraz z odpowiadającymi im wartościami funkcji $S_d(s_i)$ (reprezentacja binarna wyświetlanych sygnałów) przedstawia tablica 2 (pozostałe stany są niedopuszczalne).

Tablica 2

Sposób kodowania sygnałów wyświetlanych za pomocą dolnych światel sygnalizatora

Oznaczenie	$S_d(s_i)$	c	p_d	z_p	p_p	b	im_b
V_0	32	1	0	0	0	0	0
V_{40}	16	0	1	0	0	0	0
V_{60}	20	0	1	0	1	0	0
V_{100}	24	0	1	1	0	0	0
V_{max}	0	0	0	0	0	0	0
SZ	3	0	0	0	0	1	1
Ms2	2	0	0	0	0	1	0

- c - światło czerwone,
- p_d - światło pomarańczowe dolne,
- z_p - światło zielonego pasa,
- p_p - światło pomarańczowego pasa,
- b - światło białe,
- im_b - impulsator światła białego.

Na sygnalizatorach mogą być dodatkowo umieszczone następujące wskaźniki:

- W2 - oznaczający kierunek wyjazdów pociągów,
- W19 - oznaczający, że odległość między dwoma następnymi sygnalizatorami pociągowymi (semafor lub tarcza ostrzegawcza) jest mniejsza od obowiązującej na danej linii drogi hamowania,
- W20 - oznaczający, że odległość między sygnalizatorem, na którym umieszczono wskaźnik, a następnym semaforem jest mniejsza od obowiązującej na danej linii drogi hamowania,
- W24 - oznaczający wyjazd na tor niewłaściwy szlaku dwutorowego,
- W26a - oznaczający przejazd pociągu z grupy torów dalekobieżnych na grupę torów podmiejskich,
- W26b - oznaczający przejazd pociągu z grupy torów podmiejskich na grupę torów dalekobieżnych.

Ponieważ na słupie sygnalizatora może być umieszczony więcej niż jeden wskaźnik, a tylko niektóre wskaźniki wykluczają się wzajemnie, wygodne jest opisanie stanu wskaźników za pomocą funkcji:

$$W(s_i)$$

dla $s_i \in S$

której wartości wynikają z binarnej reprezentacji stanu wskaźników, a kolejne bity odpowiadają stanom wskaźników odpowiednio:

- bit 0 W_2
- bit 1 W_{19}
- bit 2 W_{20}
- bit 3 W_{24}
- bit 4 W_{26a}
- bit 5 W_{26b}

Na podstawie wyżej przedstawionych funkcji można zdefiniować stan typowych sygnalizatorów:

- Stan semafora może być opisany za pomocą funkcji: $S_g(s_i)$ i $S_d(s_i)$ oraz funkcji $W(s_i)$ w postaci wektora:

$$SM = [sm_i]$$

dla $i=1..3$

którego elementy są równe odpowiednio:

$$sm_1 = S_g(s_i)$$

$$sm_2 = S_d(s_i)$$

$$sm_3 = W(s_i)$$

- Stan tarczy ostrzegawczej może być opisany za pomocą funkcji $S_g(s_i)$ i funkcji $W(s_i)$ w postaci wektora:

$$TO = [to_i]$$

dla $i=1..3$

którego elementy są równe odpowiednio:

$$to_1 = S_g(s_i)$$

$$to_2 = W(s_i)$$

- Stan sygnalizatora powtarzającego może być opisany za pomocą funkcji $S_g(s_i)$ i funkcji określającej wyświetlanie światła:

$$B(s_i)$$

dla $s_i \in S$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$B(s_i) = 1$ - na powtarzaczku wyświetlone jest białe światło ciągle,

$B(s_i) = 0$ - na powtarzaczku nie jest wyświetlone białe światło ciągle.

W ten sposób powtarzacz semafora może być opisany za pomocą funkcji $S_g(s_i)$ oraz $B(s_i)$ w postaci wektora:

$$PS = [ps_i]$$

dla $i=1..2$

którego elementy są równe odpowiednio:

$$ps_1 = S_g(s_i)$$

$$ps_2 = B(s_i)$$

- Stan tarczy manewrowej może być opisany za pomocą funkcji określającej sygnali wyświetlane na tarczy manewrowej:

$$T_m(s_i)$$

dla $s_i \in S^m$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$T_m(s_i) = 1$ - na tarczy manewrowej ma zostać wyświetlony sygnał Ms2 „Jazda manewrowa dozwolona”.

$T_m(s_i) = 0$ - na tarczy manewrowej ma zostać wyświetlony sygnał Ms1 „Jazda manewrowa zabroniona”.

- Funkcja określająca stan liniowej blokady samoczynnej.

Przykładową analizę przeprowadzono tylko dla blokady samoczynnej Eac, jednak ze względu na typowe stany blokady i sposób obsługi w zasadzie można wykorzystywać dowolną liniową blokadę samoczynną, która pozwala na wygenerowanie odpowiednich stanów (szczegółowe informacje dotyczące blokady Eac zawiera praca [2]). Z punktu widzenia urządzeń stacyjnych istotne są przede wszystkim stany, w jakich może znajdować się blokada oraz stany elementów, które umożliwiają przejście między kolejnymi stanami. Dlatego poniższa analiza dotyczy procesów włączania i zwalniania blokady.

Jako stan zasadniczy urządzeń na linii jednotorowej przyjmuje się stan neutralny, a na linii dwutorowej stan włączenia kierunku właściwego po każdym z torów. Semaforów odstępów włączanego kierunku wyświetlają sygnały zgodne z sytuacją ruchową na szlaku. Semaforów dla kierunku przeciwnego są wyłączone (ciemne), z wyjątkiem ostatnich semaforów blokady, które stanowią tarcze ostrzegawcze dla semaforów wjazdowych na stację. Prowadzenie ruchu na szlaku musi być poprzedzone włączeniem blokady dla tego kierunku. W stanie neutralnym na obu stacjach są wzbudzone tylko przekaźniki remanencyjne Dp („dania pozwolenia”) [3].

Rozpoczęcie procesu włączania blokady następuje w chwili obsłużenia przycisku Wbl („włączenia blokady”) przez operatora na jednej ze stacji. Wciśnięcie tego przycisku powoduje wzbudzenie przekaźnika Wbl oraz przesłanie odpowiednich sygnałów

w kierunku sąsiedniej stacji. Od tego momentu dyżurny ruchu oczekuje na zgodę na włączenie kierunku blokady. Można ten stan nazwać przygotowaniem blokady.

Sygnałem dla dyżurnego ruchu stacji sąsiedniej, że żąda się włączenia blokady, jest na planie świetlnym migająca białym światłem strzałka na powtarzaczach stanu blokady. Jeżeli operator w odpowiedzi na tę informację naciśnie przycisk pzk (pozwolenia) wzbudzając przekaźnik Pzk i odzwbudzając przekaźnik Dp, to po przesłaniu odpowiednich sygnałów do stacji włączającej blokadę, następuje wzbudzenie przekaźnika Op ("otrzymania pozwolenia") oraz odzwbudzenie przekaźnika Wbl i blokada zostaje włączona. Włączenie blokady sygnalizowane jest na planie świetlnym strzałką świecącą białym światłem na powtarzaczach stanu blokady zwróconą w kierunku zgodnym z kierunkiem nastawienia blokady. Blokada z punktu widzenia włączającego znajduje się w stanie, który można umownie nazwać "kierunek wyjazdowy", natomiast z punktu widzenia udzielającego pozwolenia na włączenie blokady w stanie "kierunek wjazdowy".

Zwolnienie blokady może nastąpić, gdy na szlaku nie ma żadnego pociągu i nie przewiduje się wyprawienia pociągu ze stacji mającej do tego uprawnienia. Zwolnienie blokady może odbywać się w dwojaki sposób: ręcznie lub automatycznie, a różnica polega jedynie na sposobie wzbudzenia przekaźnika Zwbl("zwolnienia blokady")[3]. Rozpoczęcie procesu zwalniania następuje w momencie wzbudzenia przekaźnika Zwbl (pomijając źródło sygnału wzbudzającego) powodując wysłanie odpowiednich sygnałów do stacji, z kierunku której blokada była włączona, w wyniku czego zostaje na tej stacji zwolniony przekaźnik Op (strzałka na powtarzaczach blokady miga światłem białym). Następnie wzbudzony zostaje przekaźnik Dp, powodujący w efekcie zwolnienie blokady (strzałki na powtarzaczach blokady są wygaszone).

Stan samoczynnej blokady liniowej (z punktu widzenia urządzeń stacyjnych) może być opisany za pomocą funkcji określającej stan blokady:

$$S_b(b_i)$$

dla $b_i \in B$,

której wartości wynikają z binarnej reprezentacji stanu przekaźników decydujących o ustawieniu blokady, a kolejne bity odpowiadają stanom przekaźników odpowiednio:

- | | | | |
|---------|-----|---------|------|
| - bit 0 | Dp | | |
| - bit 1 | Op | - bit 4 | Nc |
| - bit 2 | Pzk | - bit 5 | Zwbl |
| - bit 3 | Wbl | - bit 6 | Zwp |

Sposób kodowania sygnałów stanu blokady wraz z odpowiadającymi im wartościami funkcji $S_b(b_i)$ (reprezentacja binarna wyświetlanych sygnałów) przedstawia tablica 3 (pozostałe stany oznaczają, że blokada nie znajduje się w stanie stabilnym (jest przygotowywana lub zwalniana) albo uległa uszkodzeniu¹).

Tablica 3

Sposób kodowania sygnałów stanu liniowej blokady samoczynnej

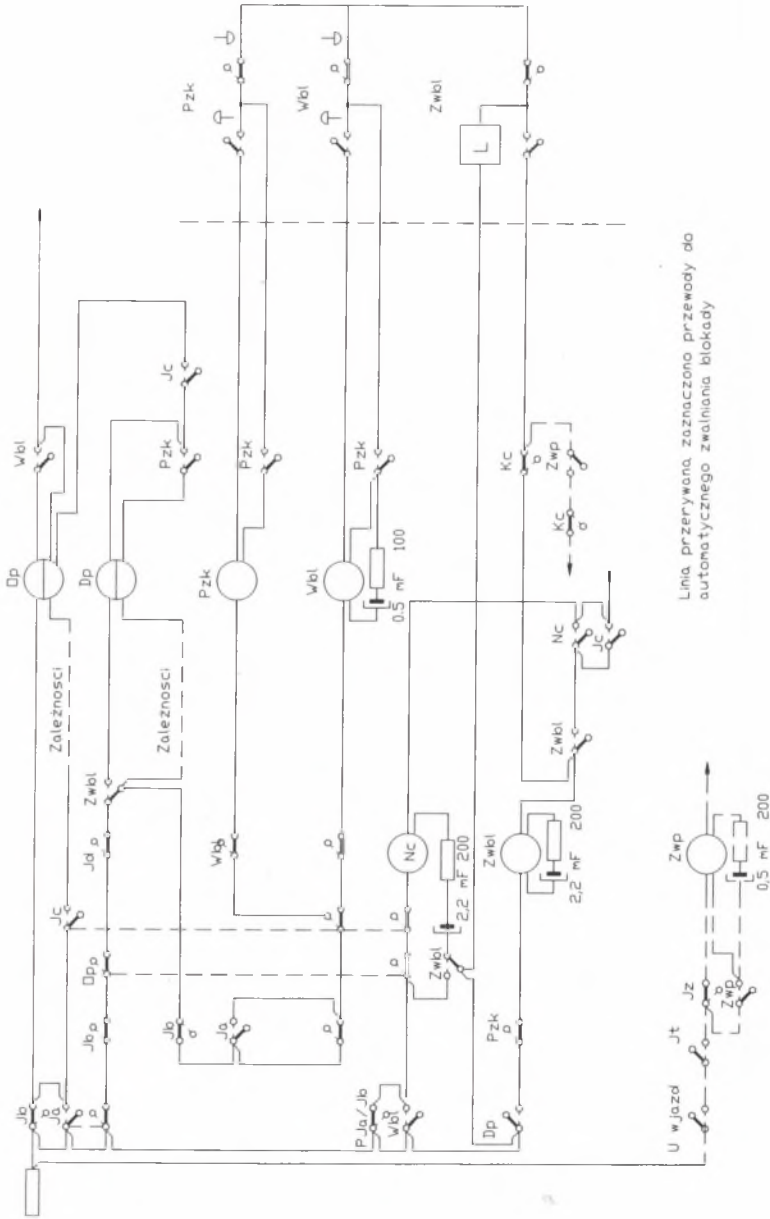
Oznaczenie	$S_b(b_i)_{hex}$	Zwp	Zwbl	Nc	Wbl	Pzk	Op	Dp
Stan neutralny	01	0	0	0	0	0	0	1
Kierunek wjazdowy	00	0	0	0	0	0	0	0
Kierunek wyjazdowy	03	0	0	0	0	0	1	1

$S_b(b_i) = 01$ - stan neutralny,

$S_b(b_i) = 00$ - nastawiony kierunek wjazdowy,

$S_b(b_i) = 03$ - nastawiony kierunek wyjazdowy,

¹Przedstawiony przykładowy opis może być rozbudowany do postaci pozwalającej identyfikować szczegółowo stan blokady oraz występujące uszkodzenia.



Linia przerywana, zaznaczono przewody do automatycznego zwalniania blokady

Rys.2. Obwody włączania i zwalniania sbl Eac [3]
Fig.2. Turning on and turning off circuits automatic electric block system [3]

FUNKCJE STERUJĄCE OBIEKTAMI

Podstawowymi składnikami procesu sterowania ruchem kolejowym są przebiegi, a sprawność tego procesu można mierzyć liczbą przebiegów nastawianych w jednostce czasu.

Dla zadanej stacji (okręgu nastawczego) można określić zbiór dróg przebiegu:

$$DP = \{dp_i \mid i=1,2,\dots,ld\}$$

gdzie ld - liczba dróg przebiegu.

W drodze przebiegu dp_i można wyróżnić drogę jazdy d_i oraz drogę ochronną i elementy ochronne.

Przebiegiem p_i nazywany jest zbiór stanów elementów drogi przebiegu dp_i warunkujących realizację przejazdu na odcinku d_i bez zagrożenia bezpieczeństwa ruchu kolejowego [1].

Każdej drodze przebiegu dp_i odpowiada przebieg p_i , który można traktować jako element zbioru przebiegów realizowanych przez stację:

$$P = \{p_i \mid i=1..lp\},$$

gdzie lp - liczba przebiegów ($lp=ld$),

w którym ze względu na podział ruchu kolejowego na ruch pociągowy i manewrowy, wyróżnia się dwa podzbiory:

- podzbiór przebiegów manewrowych $P^m \mid P^m \subset P$,
- podzbiór przebiegów pociągowych $P^p \mid P^p \subset P$,

a w związku z tym w zbiorze dróg przebiegu (DP) wyróżnia się:

- podzbiór dróg przebiegów manewrowych $DP^m \mid DP^m \subset DP$,
- podzbiór dróg przebiegów pociągowych $DP^p \mid DP^p \subset DP$,

przy czym $P = \{P^p \cup P^m\}$ oraz $DP = \{DP^m \cup DP^p\}$.

Wyznaczanie drogi przebiegu wymaga określenia odcinków kontrolowanych torowych, które muszą być wolne przed nastawieniem przebiegu, określenia wszystkich rozjazdów wchodzących w drogę przebiegu i ich położenia oraz sygnalizatorów, których wskazania mają wpływ na bezpieczeństwo jazdy.

Zwrotnice, których położenie warunkuje bezpieczną jazdę na drodze d_1 , można opisać za pomocą zbioru zwrotnic $Z_1 \mid Z_1 \subset Z$, w którym można wyróżnić dwa podzbiory [1]:

- Z_1^p - podzbiór zwrotnic występujących w drodze jazdy d_1
 - Z_1^o - podzbiór zwrotnic ochronnych w drodze przebiegu dp_1
- $$Z_1^p \cup Z_1^o = Z_1 \quad \wedge \quad Z_1^p \cap Z_1^o = \emptyset$$

Określenie, czy zwrotnica musi zostać nastawiona i kontrolowana w przebiegu, umożliwia funkcja:

$$Z_r(z_i)$$

dla $z_i \in Z$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$Z_r(z_i) = 1$ - zwrotnica wymaga nastawienia i kontroli w określonym położeniu dla danego przebiegu ($z_i \in Z_1$),
 $Z_r(z_i) = 0$ - zwrotnica nie wymaga nastawienia ($z_i \notin Z_1$).

Zwrotnice, które muszą być nastawiane i kontrolowane w celu realizacji przebiegów na stacji można opisać za pomocą macierzy:

$$MZ = [mz_{ij}]$$

dla $i = 1..lz$,

$j = 1..lp$,

gdzie: lz - liczba zwrotnic na stacji (liczba napędów - napędy sprzężone traktowane są jako jeden napęd).
 lp - liczba realizowanych przebiegów,

której elementy dla dowolnego przebiegu p_j przyjmują wartości:

$$mz_{ij} = Z_r(z_i)$$

dla $i = 1..lz$.

Każda ze zwrotnic, której nastawienie musi być kontrolowane w nastawianym przebiegu, może znajdować się w jednym z dwóch możliwych stanów, kierując tabor na wprost lub na odgałęzienie. W ten sposób można wyróżnić w zbiorze Z_1 podzbiory zwrotnic:

Z_1^{od} - podzbiór zwrotnic o wymaganym położeniu
 „na odgałęzienie”,

Z_1^W - podzbiór zwrotnic o wymaganym położeniu „na wprost”.
Położenie zwrotnicy może zostać określone za pomocą funkcji:

$$P_r^*(z_i)$$

dla $z_i \in Z_1$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$P_r^*(z_i) = 0$ - zwrotnica z_i jest ustawiona w położeniu
„na wprost” ($z_i \in Z_1^W$),

$P_r^*(z_i) = 1$ - zwrotnica z_i jest ustawiona w położeniu
„na odgałęzienie” ($z_i \in Z_1^{od}$).

Położenie wszystkich zwrotnic dla poszczególnych przebiegów
można opisać za pomocą macierzy:

$$GZ = [gz_{ij}]$$

dla $i = 1..lz,$

$j = 1..lp,$

gdzie: lz - liczba zwrotnic na stacji (liczba napędów),

lp - liczba przebiegów.

której elementy dla dowolnego przebiegu p_j przyjmują wartości:

$$mz_{ij} = 1 \Rightarrow gz_{ij} = P_r^*(z_i)$$

dla $i = 1..lz,$

jeżeli $mz_{ij} = 0$ to położenie zwrotnicy jest dowolne.

Odcinki układu torowego, których stan warunkuje bezpieczną
jazdę na drodze d_1 , można opisać za pomocą zbioru obwodów
torowych $T_1 | T_1 \subset T$, w którym można wyróżnić dwa podzbiory [1]:

- T_1^p - podzbiór odcinków przejeżdżanych na odcinku d_1 łącznie
z odcinkami wchodzącymi w skrajnię,
- T_1^o - podzbiór odcinków ochronnych w drodze przebiegu dp_1 ,

$$T_1^p \cup T_1^o = T_1 \quad \wedge \quad T_1^p \cap T_1^o = \emptyset$$

Wymagany stan obwodów torowych w przebiegu można określić
wprowadzając funkcję zajętości odcinka kontrolowanego:

$$Z_o^*(t_i)$$

dla $t_i \in T$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$Z_o^*(t_i) = 1$ - gdy odcinek kontrolowany musi być wolny przed nastawieniem rozpatrywanego przebiegu

$Z_o^*(t_i) = 0$ - gdy odcinek kontrolowany nie musi być wolny przed nastawieniem rozpatrywanego przebiegu.

Wymagany stan wszystkich odcinków kontrolowanych w kolejnych przebiegach opisuje macierz:

$$GT = [gt_{ij}]$$

dla $i = 1..lt,$
 $j = 1..lp,$

gdzie: lp - liczba przebiegów,
 lt - liczba odcinków kontrolowanych,

które elementy będące funkcjami zajętości odcinka kontrolowanego dla poszczególnych przebiegów p_j przyjmują odpowiednio wartości:

$$gt_{ij} = Z_o^*(t_i)$$

dla $t_i \in T$

Sygnalizatory, których wskazania są istotne dla jazdy na odcinku d_1 , można opisać za pomocą zbioru $S_1 | S_1 \subset S$, w którym można wyróżnić dwa podzbiory [1]:

- podzbiór sygnalizatorów wskazujących zezwolenie na jazdę na odcinku d_1 - (S_1^p - zwykle jednoelementowy),
- podzbiór sygnalizatorów ochronnych w drodze przebiegu $dp_1(S_1^o)$

$$S_1^p \cup S_1^o = S_1 \quad \wedge \quad S_1^p \cap S_1^o = \emptyset.$$

Wprowadzenie powyższych zbiorów pozwala na zdefiniowanie drogi przebiegu jako zbioru:

$$dp_1 = \{T_1^p \cup T_1^o \cup S_1^p \cup S_1^o \cup Z_1^p \cup Z_1^o\}$$

Nastawienie przebiegu p_1 polega na nadaniu wszystkim elementom drogi przebiegu dp_1 stanów warunkujących bezpieczną

jazdę na odcinku d_1 . Oznacza to spełnienie następujących warunków:

- wszystkie zwrótnice należące do zbioru Z_1 znajdują się we właściwym położeniu,
- wszystkie obwody torowe należące do zbioru T_1 są wolne,
- wszystkie sygnalizatory ochronne należące do zbioru S_1^o wskazują sygnał „STÓJ”.

Przedstawione macierze MZ i GZ reprezentują grupę zwrótnicową tablicy zależności natomiast grupę izolacji stanowi macierz GT.

NASTAWIANIE PRZEBIEGU

Nastawienie przebiegu p_1 polega na nadaniu wszystkim elementom drogi przebiegu dp_1 stanów warunkujących bezpieczną jazdę na odcinku d_1 . Oznacza to spełnienie następujących warunków:

- wszystkie zwrótnice należące do zbioru Z_1 znajdują się we właściwym położeniu,
- wszystkie obwody torowe należące do zbioru T_1 są wolne,
- wszystkie sygnalizatory ochronne należące do zbioru S_1^o wskazują sygnał „STÓJ”.

Określenie, czy wszystkie odcinki torowe, które muszą być nie zajęte dla realizacji przebiegu znajdują się we właściwym stanie, umożliwia funkcja określona na zbiorze T_1 :

$$Z_p(T_1)$$

dla $i=1..lp$

gdzie: lp - liczba przebiegów,

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$$Z_p(T_1) = 0 \Leftrightarrow \bigvee_{t_i \in T_1} Z_o(t_i) \neq Z_o^*(t_i) - \text{odcinek } t_i \in T_1 \text{ jest zajęty,}$$

$$Z_p(T_1) = 1 \Leftrightarrow \bigwedge_{t_i \in T_1} Z_o(t_i) = Z_o^*(t_i) - \text{wszystkie odcinki } t_i \in T_1 \text{ nie są zajęte.}$$

Określenie, czy wszystkie zwrotnice, które muszą być nastawione i kontrolowane w przebiegu, są ustawione we właściwym położeniu, umożliwia funkcja określona na zbiorze Z_1 :

$$P_Z(Z_1)$$

dla $i=1..lp$

gdzie lp - liczba przebiegów,

która przyjmuje wartości odpowiednio:

$$P_Z(Z_1) = 0 \Leftrightarrow \bigvee_{z_i \in Z_1} P_r(z_i) \neq P_r^*(z_i) - \text{zwrotnica } z_i \text{ zajmuje}$$

położenie niewłaściwe,

$$P_Z(Z_1) = 1 \Leftrightarrow \bigwedge_{z_i \in Z_1} P_r(z_i) = P_r^*(z_i) - \text{wszystkie zwrotnice } z_i \mid z_i \in Z_1$$

zajmują położenie właściwe.

Na stacji kolejowej może odbywać się nastawianie lub realizacja (przejazd taboru przez odcinek d_1) więcej niż jednego przebiegu pod warunkiem, że nie są to przebiegi sprzeczne. Sprzeczność dwóch przebiegów określa się na podstawie odcinków toru występujących w odpowiednich drogach przebiegu (elementy macierzy GT).

Rozpatrując:

przebiegi $p_r, p_s \in P$
i odcinki kontrolowane $T_r, T_s \in T$

gdzie: $r, s \in \{1, 2, \dots, lp\}$ i $r \neq s$

lp - liczba przebiegów realizowanych przez stacje, oraz zakładając, że w przebiegu p_r wymagana jest niezajętość odcinków toru T_r (analogicznie w przebiegu p_s wymagana jest niezajętość odcinków toru T_s) mogą zachodzić dwa następujące przypadki:

$T_r \cap T_s \neq \emptyset$ - przebiegi p_r i p_s są sprzeczne,

$T_r \cap T_s = \emptyset$ - przebiegi p_r i p_s są równoległe.

Jest to podstawowe kryterium określania sprzeczności, jednak w praktyce występują przypadki umownego traktowania jako równoległe pewnych przebiegów formalnie sprzecznych.

Ogólnie sprzeczność przebiegów można opisać za pomocą funkcji dwuargumentowej:

$$Sp(p_r, p_s)$$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$Sp(p_r, p_s) = 0$ - przebiegi p_r i p_s są sprzeczne,

$Sp(p_r, p_s) = 1$ - przebiegi p_r i p_s są równoległe.

W ten sposób można utworzyć tabelę zamknięć tablicy zależności reprezentowaną przez macierz:

$$TZ = [tz_{ij}]$$

dla $i, j = 1..lp$

gdzie lp - liczba przebiegów realizowanych przez stację, której elementy przyjmują odpowiednio wartości:

$$tz_{ij} = Sp(p_i, p_j)$$

dla $i, j = 1..lp$.

UTWIERDZENIE PRZEBIEGU

Warunkiem wyświetlenia sygnału zezwalającego na sygnalizatorze po nastawieniu przebiegu jest utwierdzenie przebiegu, które można opisać funkcją utwierdzenia określoną na zbiorze p_1 :

$$U(p_1)$$

dla $i=1..lp$

gdzie: lp - liczba przebiegów,

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$U(p_1) = 0$ - przebieg p_1 nie jest utwierdzony,

$U(p_1) = 1$ - przebieg p_1 jest utwierdzony.

Ut看rdzenie przebiegów może być realizowane jednostopniowo lub dwustopniowo. W pierwszym przypadku utwierdzenie następuje po obsłużeniu przycisków nastawczych (przycisków przebiegowych lub przycisku sygnalizatora). W systemach sterowania ruchem kolejowym z dwustopniowym utwierdzeniem przebiegów, utwierdzenie zostaje wywołane zbliżaniem się pociągu (zajęcie odcinka zbliżania) [1].

Utwierdzenie przebiegu może nastąpić tylko wówczas, gdy nie jest utwierdzony inny przebieg $p_k \in P$ sprzeczny z przebiegiem p_1 ($Sp(p_k, p_1) = 1$ - spełnienie tego warunku oznacza, że wszystkie sygnalizatory ochronne $s_i \in S_1^o$ wskazują sygnał „STÓJ”), Warunek ten można opisać za pomocą funkcji:

$$U_S(p_1)$$

dla $i=1..lp$

gdzie lp - liczba przebiegów,

która przyjmuje wartości odpowiednio:

$U_S(p_1) = 0 \Leftrightarrow \bigvee_{p_k \in P} U(p_k) = 1 \wedge Sp(p_k, p_1) = 0$ - przebieg nastawiany jest sprzeczny z innym przebiegiem utwierdzonym,

$U_S(p_1) = 1 \Leftrightarrow \bigwedge_{p_k \in P} U(p_k) = 1 \wedge Sp(p_k, p_1) = 1$ - przebieg nastawiany nie jest sprzeczny z żadnym przebiegiem utwierdzonym.

Proces nastawiania przebiegu zostaje zakończony wyświetleniem sygnału zezwalającego na sygnalizatorze osłaniającym drogę dp_1 . Ogólnie nastawianie sygnałów na sygnalizatorze można opisać za pomocą funkcji:

$$W_S(s_i)$$

dla $s_i \in S$

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$W_S(s_i) = 0 \Leftrightarrow$ sygnalizator wskazuje sygnał „STÓJ”,

$W_S(s_i) = 1 \Leftrightarrow$ sygnalizator wskazuje sygnał zezwalający na jazdę.

Dla danego przebiegu można zdefiniować funkcję nastawiania sygnałów zezwalających określoną na zbiorze sygnalizatorów S_1^p :

$$W_p(S_1^p)$$

dla $i = 1..ls$,

gdzie: ls - liczba sygnalizatorów na stacji,

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$W_p(S_1^p) = 0 \Leftrightarrow \bigvee_{s_i \in S_1^p} W_s(s_i) = 0$ - nie wszystkie sygnalizatory dotyczące przebiegu p_1 wskazują sygnał zezwalający,

$W_p(S_1^p) = 1 \Leftrightarrow \bigwedge_{s_i \in S_1^p} W_s(s_i) = 1$ - wszystkie sygnalizatory dotyczące przebiegu p_1 wskazują sygnał zezwalający.

Wyświetlenie sygnału zezwalającego na sygnalizatorach dotyczących drogi dp_1 kończy proces nastawiania przebiegu.

ZWALNIANIE PRZEBIEGU

Podczas realizacji przebiegu p_1 zajmowane są (i zwalniane) kolejne odcinki kontrolowane aż do momentu zwolnienia przebiegu, to znaczy do zwolnienia przedostatniego i zajęcia ostatniego odcinka kontrolowanego w przebiegu. Zwolnienie przebiegu prowadzi do nadania urządzeniom stanu spoczynkowego i umożliwia nastawienie innego przebiegu (przede wszystkim przebiegów sprzecznych z przebiegiem poprzednio nastawionym). We współczesnych systemach sterowania ruchem kolejowym stosuje się najczęściej zwalnianie sekcyjne, umożliwiając w ten sposób wykorzystanie zwolnionej części drogi przebiegu dp_1 do nastawienia przebiegów, które były sprzeczne przed jej zwolnieniem.

Zastosownie sekcyjnego zwalniania przebiegu p_1 wymaga podzielenia drogi jazdy d_1 na sekcje, którymi w ogólnym przypadku mogą być odcinki kontrolowane $t_i \in T_1$. Warunkiem zwolnienia sekcji jest jej zajęcie i opuszczenie przez tabor oraz zwolnienie sekcji poprzedniej. Dla pierwszej sekcji warunek zwolnienia sekcji poprzedniej jest równoważny z warunkiem wskazywania sygnału zabraniającego przez sygnalizatory ze zbioru S_1^{p2} . W niektórych systemach sterowania ruchem kolejowym jako dodatkowy warunek wprowadza się zajęcie sekcji następniej.

²Zbiór sygnalizatorów, które wskazują sygnał zezwalający dla nastawionego przebiegu.

Stan sekcji można opisać za pomocą funkcji zwolnienia sekcji:

$$S_u(t_i)$$

dla $i=1..lt$,

gdzie: $t_i \in T_1$,

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$S_u(t_i) = 0$ - sekcja t_i jest utwierdzona,

$S_u(t_i) = 1$ - sekcja t_i nie jest utwierdzona.

W przypadku przebiegów sekcjonowanych warunków sprzeczności przebiegów określany jest dynamicznie na podstawie sytuacji ruchowej. Oznacza to, że warunek określony funkcją $U_S(p_1) = 0$ jest w tym przypadku jedynie warunkiem koniecznym sprzeczności przebiegów, natomiast warunkiem koniecznym i wystarczającym jest utwierdzenie sekcji $t_i \in T_1$ innym przebiegiem $p_k \neq p_1$ ($p_k, p_1 \mid p_k, p_1 \in P$). Warunek ten może być opisany za pomocą funkcji:

$$U'_S(p_1)$$

dla $i=1..lp$,

gdzie: lp - liczba przebiegów,

która przyjmuje odpowiednio wartości:

$U'_S(p_1) = 1 \Leftrightarrow \bigvee_{t_i \in T_1} S_u(t_i) = 1$ - istnieje sekcja nie utwierdzona w drodze przebiegu dp_1 .

$U'_S(p_1) = 0 \Leftrightarrow \bigwedge_{t_i \in T_1} S_u(t_i) = 0$ - wszystkie sekcje w w drodze przebiegu dp_1 są utwierdzone.

Między funkcjami $U'_S(p_1)$ i $U_S(p_1)$ istnieją następujące zależności:

$$U_S(p_1) = 1 \Rightarrow U'_S(p_1) = 1$$

$$U'_S(p_1) = 0 \Rightarrow U_S(p_1) = 0$$

W przypadku przebiegów sekcjonowanych utwierdzenie przebiegu następuje w momencie utwierdzenia wszystkich sekcji:

$$\bigwedge_{t_i \in T_1} S_u(t_i) = 0 \Rightarrow S_u(p_1) = 0$$

Zajętość sekcji można opisać za pomocą funkcji kontroli zwolnienia sekcji:

$$S_z(t_i)$$

gdzie: $t_i \in T_1$

$S_z(t_i) = 0$ - sekcja t_i jest zajęta przez tabor,

$S_z(t_i) = 1$ - sekcja t_i nie jest zajęta przez tabor.

Stan całego przebiegu można opisać za pomocą funkcji zwolnienia przebiegu określonej na zbiorze p_1 :

$$S_c(p_1)$$

gdzie: $p_1 \in T_1$

$S_c(p_1) = 0 \Leftrightarrow \bigvee_{t_i \in T_1} S_u(t_i) = 1$ - nie wszystkie sekcje drogi przebiegu zostały zwolnione,

$S_c(p_1) = 1 \Leftrightarrow \bigwedge_{t_i \in T_1} S_u(t_i) = 0$ - wszystkie sekcje drogi przebiegu zostały zwolnione.

Określając zbiór sekcji przebiegu p_1 przez:

$$Q_1 = \{t_m \mid m = 1, 2, \dots, k\}$$

gdzie k - liczba sekcji przebiegu p_1

możliwe jest określenie funkcji zwolnienia m -tej sekcji przebiegu:

- w przypadku gdy nie jest sprawdzana zajętość następnej sekcji

dla $m > 1$

$$m \neq k$$

$$S_u(t_m) = [S_u(t_{m-1}) \wedge S_z(t_m)]$$

dla $m = 1$

$$S_u(t_1) = [\overline{Wp(S_1^p)} \wedge S_z(t_1)]$$

- w przypadku gdy jest sprawdzana zajętość następnej sekcji
dla $m > 1$

$$m \neq k$$

$$S_u(t_m) = [S_u(t_{m-1}) \wedge S_z(t_m) \wedge \overline{S_z(t_{m+1})}]$$

dla $m = 1$

$$S_u(t_1) = [\overline{Wp(S_1^u)} \wedge S_z(t_1) \wedge \overline{S_z(t_2)}]$$

Warunek zajęcia sekcji następnej nie jest sprawdzany dla ostatniej sekcji.

LITERATURA

- [1] Apuniewicz S.: Zasady modelowania matematycznego obiektów i procesów sterowania ruchem kolejowym, ZN Pol. Świętokrz., Kielce 1977, z 5.
- [2] Plewka A., Maciejewski A.: Samoczynna blokada liniowa Eac, Automatyka kolejowa 1987, nr 8.
- [3] El - Przepisy sygnalizacji na Polskich Kolejach Państwowych WKiŁ, Warszawa 1976.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Wpłynęło do Redakcji 22.10.1993 r.

Abstract

The paper discusses the formal systematized description of the railway traffic control units (railway track elements, control units) and basic railway traffic control processes for modelling the railway traffic with special consideration of the processes proceeding at a railway station and descriptions of computer control systems. The elements of the set theory and Boolean algebra have been applied for descriptions. Presented formal description determine the base of network model of the railway track. Also designing of lighting panel used this formal description.