

Sławomir Apuniewicz

Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu
Instytut Automatyki i Elektroniki Transportu

RUCH KOLEJOWY JAKO PROCES ZDISKRETYZOWANY DLA POTRZEB STEROWANIA

Streszczenie. W referacie przedstawiono rozważania uzasadniające celowość traktowania ruchu kolejowego jako procesu zdyskretyzowanego dla potrzeb sterowania. Przedstawiono zasadę dyskretyzacji oraz ogólny model funkcjonalny sterowania ruchem kolejowym, wykazując, iż spełnione są kryteria stosowane w odniesieniu do dyskretnych procesów produkcyjnych. Na tej podstawie sformułowano pogląd, że baza teoretyczna procesów dyskretnych może być z pożytkiem wykorzystana dla rozwoju techniki sterowania ruchem kolejowym.

1. Wprowadzenie

Technika sterowania ruchem kolejowym /SRK/ uległa w ostatnich dziesięcioleciach istotnemu przeobrażeniu. Przy zasadniczo niezmiennych podstawowych zasadach bezpiecznego prowadzenia ruchu pojawiły się całkowicie nowe środki techniczne realizacji tego procesu. W początkowym kilkudziesięcioletnim okresie użytkowania przez ludzkość kolei żelaznych sterowanie ruchem, a właściwie jego zabezpieczanie, jak to wówczas nazywano, realizowane było za pomocą urządzeń mechanicznych. Bazą teoretyczną dla konstrukcji i eksploatacji tych urządzeń była mechanika i jej znajomości przede wszystkim wymagano od specjalistów zajmujących się urządzeniami SRK.

Stopniowo urządzenia SRK (początkowo całkowicie mechaniczne) uzupełniane były podzespołami elektrycznymi, co w rezultacie doprowadziło do powstania konstrukcji określanych jako elektromechaniczne. Charakteryzowały się one wykorzystaniem takich urządzeń, jak: silniki elektryczne /do przestawiania zwrotnic i nastawiania sygnalizatorów/, elektromagnesy /spełniające rolę zapadek czy zastawek elektromechanicznych/, przekaźniki itp.

Kolejna faza polegała na radykalnym zwiększeniu udziału podzespołów elektrycznych, a zwłaszcza - przekaźników. Ostatnio natomiast rozpoczęła się faza wypierania układów przekaźnikowych przez urządzenia elektroniczne z systemami mikroprocesorowymi na czele.

Z chwilą upowszechnienia się urządzeń przekaźnikowych powstał problem aktualizacji, a właściwie zmiany bazy teoretycznej dla techniki SRK, gdyż dotychczasowa baza mechaniczna stała się całkowicie bezużyteczna. Ponieważ było rzeczą oczywistą, że przekaźnikowe systemy SRK mają charakter urządzeń cyfrowych, skłusznie uznano teorię automatów za podstawową bazę teoretyczną analizy i syntezy układów SRK. Jednakże nie wydaje się to być

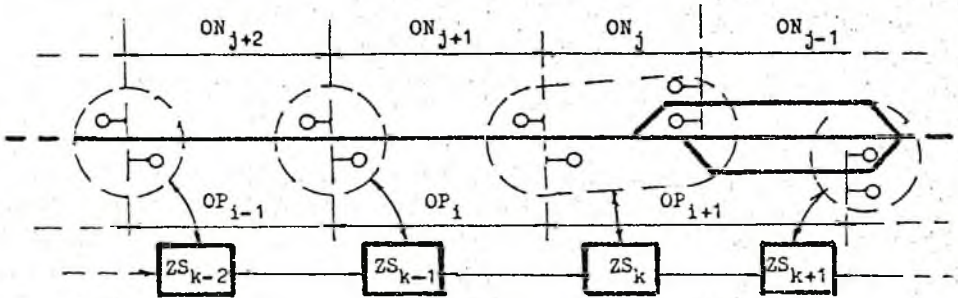
wystarczające w sytuacji, gdy w grę wchodzi rozważania dotyczące systemów SRK łącznie z procesem ruchu kolejowego jako takim. Tu dopiero wyodrębnienie dziedziny automatyzacji procesów dyskretnych stworzyło odpowiednią podstawę teoretyczną. Próba uzasadnienia tego twierdzenia jest celem niniejszego referatu.

2. Dyskretyzacja procesu ruchu kolejowego dla potrzeb sterowania

Proces ruchu kolejowego można rozpatrywać dwojako:

- w aspekcie mechanicznego przemieszczania się poszczególnych pojazdów po szynach,
- w aspekcie celowo zorganizowanego, ciągłego przemieszczania się wielu pojazdów po sieci kolejowej.

Aczkolwiek oba te aspekty są istotne dla bezpieczeństwa, tylko drugi z nich jest istotny dla rozważań dotyczących sterowania ruchem kolejowym traktowanym jako proces. W sytuacji jednoczesnego przemieszczania się wielu pojazdów po tej samej sieci kolejowej występuje problem zapobiegania ich wzajemnym kolizjom. Problem ten powszechnie jest rozwiązywany na zasadzie umownego dzielenia całej sieci na odcinki i umieszczania na początku każdego odcinka sygnalizatora informującego o istnieniu lub braku możliwości bezpiecznego wjazdu na dany odcinek. Zasadę tę w dużym uproszczeniu ilustruje rysunek 1.

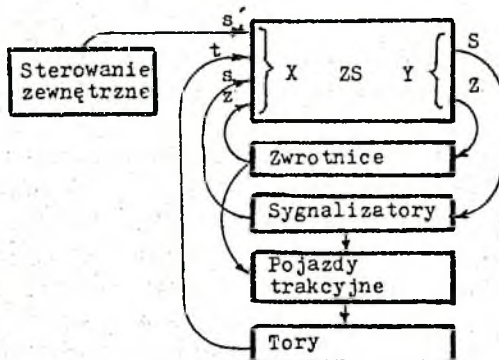


Rys.1. Zasada dyskretyzacji sieci kolejowej
The railway network discretisation principle

Każdy z wyznaczonych w ten sposób odstępów między dwoma kolejnymi / dla danego kierunku: parzystego - OP_i i nieparzystego - ON_j / sygnalizatorami odpowiada elementowi binarnemu, charakteryzującemu się dwoma stanami: dopuszczalności i niedopuszczalności jazdy. Występowanie tych dwóch stanów jest podstawą procesu bezpiecznego sterowania ruchem kolejowym, realizowanego przez zespoły urządzeń sterowania / ZS_k / przyporządkowane poszczególnym grupom sygnalizatorów; zespoły te, ze względu

technicznych są też kaskadowo uzależnione wzajemnie. Każdy z tych zespołów, w wykonaniu przekąźnikowym lub elektronicznym, ma charakter układu cyfrowego, którego zadaniem jest sprawdzanie warunków dopuszczalności jazdy i powodowanie ustawienia odpowiednich wskazań na sygnalizatorach nim sterowanych. Podstawowymi warunkami są:

- niezajętość odcinka torowego, na który ma być dokonany wjazd /nie dotyczy wszystkich kategorii jazd/,
- nienastawienie zezwolenia na jazdę na innym sygnalizatorze osłaniającym ten sam odcinek,
- prawidłowe ustawienie zwrotnic istotnych dla przewidywanego wjazdu.



Rys.2. Schemat blokowy sterowania ruchem kolejowym
Block-diagram of railway signalling system

Zasadę realizacji wzajemnych uzależnień w standardowej instalacji urządzeń SRK ilustruje rysunek 2. Wektor X sygnałów wejściowych do zespołu sterującego ZS zawiera pierwotne sygnały wejściowe s' , generowane przez układ sterowania zewnętrznego /np. pulpit nastawczy obsługiwany przez operatora/ oraz wtórne sygnały wejściowe: s , z , t , informujące o stanie urządzeń sterowanych. Elementy zbioru sygnałów $s' = \{s'_1, s'_2, \dots, s'_m\}$ odpowiadają sygnalizatorom S_1, S_2, \dots, S_m uzależnionym od danego zespołu sterującego. W stanie zasadniczym wartości logiczne tych sygnałów są negatywne; nadanie wartości pozytywnej niektórym z nich oznacza zainicjowanie procesu nastawiania zezwolenia na jazdę na sygnalizatorach z nimi skojarzonych. Nastawienie to jest uzależnione od wartości pozostałych sygnałów wektora wejściowego. Zbiór $s = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ jest odzwierciedleniem aktualnego stanu rzeczywistego sygnalizatorów; jest on związany ze sprawdzaniem, czy nie został wcześniej nastawiony na innym sygnalizatorze sygnał zezwalający na jazdę sprzeczną z jazdą zamierzoną. Pozytywna wartość logiczna sygnału s_1 oznacza brak sygnału zezwalającego na sygnalizatorze S_1 , wartość negatywna oznacza nastawienie takiego sygnału.

Zbiór $z = \{z'_1, z'_1, z'_2, z'_2, \dots, z'_n, z'_n\}$ odpowiada zwrotnicom /ściśle: zwrot-

nicom i wykolejnicom/ uzależnionym od danego zespołu sterującego i ustawieniom tych zwrotnic /dla jazdy "na wprost" lub dla jazdy "na odgałężenie"/. Para z_j, z_j' odpowiada dwóm ustawieniom zwrotnicy z_j , dla każdej jazdy istotne jest tylko jedno ustawienie. Sygnały z tego zbioru są związane ze sprawdzaniem warunku prawidłowego ustawienia zwrotnic dla przygotowywanej jazdy; pozytywna wartość logiczna sygnału z_j/z_j' oznacza ustawienie zwrotnicy z_j w położeniu odpowiadającym temu sygnałowi.

Zbiór $t = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ odpowiada kontrolowanym odcinkom torowym/zwrotnicowym/ należącym do obszaru obsługiwanego przez ZS. Negatywna wartość logiczna t_k odpowiada stanowi zajęcia odcinka T/Z_k , wartość pozytywna informuje o niezajętości.

Wektor Y sygnałów wyjściowych zawiera sygnały należące do dwóch zbiorów: $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ i $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$. Wartości tych sygnałów w stanie zasadniczym są pasywne. Aktywna wartość sygnału S_1 zostaje wygenerowana w sytuacji, gdy zachodzi potrzeba i dopuszczalność nastawienia sygnału zezwalającego na jazdę na sygnalizatorze S_1 . Wartość aktywna sygnału Z_j zostaje wygenerowana, jeżeli położenie zwrotnicy Z_j dla przygotowywanej jazdy nie jest właściwe, a jednocześnie zwrotnica ta nie jest zarezerwowana dla innej jazdy, co oznacza dopuszczalność zmiany ustawienia tej zwrotnicy.

Uzależnienie sygnałów wyjściowych od wejściowych jest zdeterminowane w sposób, który może być odwzorowany np. za pomocą macierzy uzależnień $[Q]$. Postać tego uzależnienia może mieć charakter koniunkcyjny lub alternatywny; w pierwszym przypadku zależność ogólną wyrazić można jako iloczyn logiczny sum logicznych poszczególnych elementów macierzy z przyporządkowanymi im sygnałami wejściowymi:

$$\begin{aligned} Y_1 &= (Q_{11} \vee X_1) \wedge (Q_{12} \vee X_2) \wedge \dots \wedge (Q_{1x} \vee X_x) \\ Y_2 &= (Q_{21} \vee X_1) \wedge (Q_{22} \vee X_2) \wedge \dots \wedge (Q_{2x} \vee X_x) \\ &\vdots \\ Y_y &= (Q_{y1} \vee X_1) \wedge (Q_{y2} \vee X_2) \wedge \dots \wedge (Q_{yx} \vee X_x) \end{aligned}$$

Kładąc odpowiednie, stałe dla danego obiektu, wartości ze zbioru $\{0, 1\}$ elementom macierzy, otrzymujemy pożądane uzależnienie generowania aktywnych sygnałów wyjściowych od zapotrzebowania na nie oraz od spełnienia wymienionych uprzednio warunków bezpieczeństwa ruchu. Kładanie elementowi Q_{ab} stałej wartości 1 oznacza, iż skojarzony z nim sygnał wejściowy X_b nie jest istotny dla sygnału wyjściowego Y_a . Kładanie elementowi Q_{ab} wartości 0 powoduje, że wartość całej sumy elementarnej $Q_{ab} \vee X_b$ zależy od wartości X_b /zmiennej w zależności od stanu urządzenia generującego sygnał X_b /. Na to, aby sygnał wyjściowy Y_a mógł mieć wartość aktywną, równoważną 1, wszystkie sumy elementarne skojarzone z sygnałami wejściowymi istotnymi dla tego sygnału wyjściowego muszą mieć wartość 1, co oznacza, iż wszystkie wa-

runki bezpieczeństwa dla nastawienia sygnału lub przestawienia zwrotnicy są spełnione.

Analogicznie może być skonstruowane odwzorowanie uzależnienia o postaci alternatywnej.

Stosownie do tego modelu są konstruowane elektryczne /przełącznikowe/ lub elektroniczne układy zespołów sterujących. Oczywiście realizacja techniczna musi uwzględniać różne szczegóły techniczne nie ujęte powyższym modelem ogólnym, co jednak nie podważa jego generalnej poprawności w aspekcie funkcjonalnym. Podstawowym problemem realizacyjnym jest natomiast zapewnienie bezpiecznego /nie powodującego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu/ działania zespołu sterującego w przypadkach uszkodzeń jego elementów. Uwzględnienie tego problemu wymaga istotnej modyfikacji przedstawionego powyżej modelu, co jednak nie należy do rozważanego tematu.

3. Wnioski

Przeprowadzone rozważania potwierdzają sformułowane na początku twierdzenie, że ruch kolejowy można traktować jako proces zdyskretyzowany dla potrzeb sterowania. Model funkcjonalny tego procesu ujmuje wszystkie występujące w nim zmienne procesowe w kategoriach wielkości i funkcji dyskretnych, odpowiadających zmiennym charakterystycznym dla procesów dyskretnych. Przejazd każdego pociągu stanowi sekwencję jednostkowych przemieszczeń z odcinka na odcinek, możliwą do opisania funkcjami całkowitoliczbowymi i w pełni kwalifikuje się do bezpośredniego sterowania cyfrowego, które w praktyce jest powszechnie stosowane.

W konsekwencji nasuwa się postulat, aby zagadnienia sterowania ruchem kolejowym rozpatrywać z wykorzystaniem bazy teoretycznej ukształtowanej z myślą o dyskretnych procesach produkcyjnych, rezygnując jednocześnie z formalnego ograniczania tej dziedziny do procesów przemysłowych. bądź uznając procesy transportowe poza zakładami produkcyjnymi również za procesy produkcyjne. Przyjmując którąkolwiek z tych konwencji, należałoby ją konsekwentnie wprowadzić do wszystkich ustaleń ogólnie definiujących kategorię procesów dyskretnych i rozwój teorii prowadzić w kierunku uwzględniającym te ustalenia.

LITERATURA

- [1] Apuniewicz i in.: Sterowanie ruchem kolejowym. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1970.
- [2] Kowalowski H. i in.: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 1986.04.30

УПРАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАССМАТРИВАЕМЫМ КАК ДИСКРЕТНЫЙ ПРОЦЕСС

Резюме

В докладе доказывается, что железнодорожное движение надо рассматривать как дискретный процесс с точки зрения систем управления. Описываются принципы и показывается математическая модель управления железнодорожным движением. Показывается, что она имеет все свойства моделей дискретных промышленных процессов. Предлагается принимать, что железнодорожное движение принадлежит к той самой категории процессов, к которой принадлежат дискретные промышленные процессы и поэтому можно рассматривать их с применением той-же самой теории.

RAILWAY TRAFFIC AS PROCESS DISCRETISED FOR CONTROL PURPOSES

Summary

Railway traffic is a continuous process originally. However, it is being discretised for control purposes and one can apply a numerical methods for describing it as well as for describing all other discrete processes. The paper presents a general description of railway signalling system and a basic mathematical model of railway traffic control process. Fig. 1. and its description shows the principle of railway traffic discretisation. Fig. 2 demonstrates a block-diagram of railway traffic control process to clear the construction of the mathematical model. The model contains the same features as the models of industrial discrete processes; it proves the possibility of using the same theory for both kinds of processes.