ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996

Seria: TRANSPORT z. 28 Nr kol. 1310

Stanisław KRAWIEC

STRUKTURA OPISU DYSKRETNEGO TOPOLOGII REJONU SIECI KOLEJOWEJ MODELOWANEGO DLA POTRZEB REGULACJI RUCHU POCIĄGÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób odwzorowania układu torowego rejonu sieci kolejowej umożliwiający badanie problemów regulacji ruchu pociągów. Podstawowym zadaniem regulacyjnym jest generowanie strategii decyzyjnych stabilizujących układ regulacyjny. Dla celów tych zdefiniowano strukturę opisu dyskretnego topologii rejonu sieci oraz zbiór macierzy pojemności regulacyjnych rejonu sieci.

THE STRUCTURE OF A DISCRETE DESCRIPTION OF THE TOPOLOGY OF A RAILWAY NETWORK AREA MODELLED FOR TRAFFIC CONTROL PURPOSES

Summary. The method of mapping of a track system of a railway network area is presented in the paper allowing the study of the train traffic control problem. The main control task is the generation of the decision strategy stabilising the control system. For this purpose the structure of a discrete description of a topology of the network area has been defined together with the set of control capacity matrices

1. Macierze topologiczne

Zgodnie z przedstawionymi w [2] definicjami w każdym rejonie sieci można wyróżnić następujące elementy:

- topologiczne elementy niepunktowe (odstępy, połączenia, relacje, głowice);
- topologiczne elementy punktowe (przebiegowe i sygnałowe miejsca końca pociągu, sygnalizatory, tarcze ostrzegawcze, punkty graniczne).

Elementy te można zdefiniować jako następujące zbiory:

$\overline{O} = \{O_1, O_2, \ldots, O_{LODS}\}$ - zbiór odstępów rejonu sieci;

$\overline{P} = \{P_1, P_2, \ldots, P_{LPOL}\}$ - zbiór połączeń rejonu sieci;

$\overline{G} = \{G_1, G_2, \ldots, G_{LGLOW}\}$ - zbiór głowic rejonu sieci;

$\overline{R} = \{R_1^1, R_2^1, \ldots, R_{LREL(1)}^1, \ldots, R_1^{LGLOW}, R_2^{LGLOW}, \ldots, R_{LREL\ (LGLOW)}^{LGLOW}\}$ - zbiór relacji rejonu sieci;

$\overline{S} = \{S_1, S_2, \ldots, S_{LSYGN}\}$ - zbiór sygnalizatorów rejonu sieci;

$\overline{A} = \{A_1, A_2, \ldots, A_{LPZ}\}$ - zbiór punktów granicznych rejonu sieci;

$\overline{B} = \{B_1, B_2, \ldots, B_{LSYGN}\}$ - zbiór tarcz ostrzegawczych rejonu sieci;

$\overline{C} = \{C_1, C_2, \ldots, C_{LSYGN}\}$ - zbiór przebiegowych miejsc końca pociągu rejonu sieci;

$\overline{D} = \{D_1, D_2, \ldots, D_{LSYGN}\}$ - zbiór sygnałowych miejsc końca pociągu rejonu sieci.

Zbiory elementów niepunktowych $\overline{O}, \overline{P}, \overline{G}, \overline{R}$ oraz elementów punktowych rejonu sieci $\overline{S}, \overline{A}, \overline{B}, \overline{C}, \overline{D}$ wraz ze zbiorem odległości między elementami punktowymi rejonu i relacjami opisującymi następstwo poszczególnych elementów opisują w sposób jednoznaczny topologię dowolnego rejonu sieci kolejowej, modelowanej dla potrzeb regulacji ruchu [1] [2].

Zbiór odległości między elementami punktowymi oraz zbiór relacji opisujących następstwo elementów niepunktowych można potraktować jako parametry tych elementów, korzystając z faktu, że rejon sieci to suma odstępów, czyli połączeń i relacji. Każdy element R_{i1} zbioru $\overline{R}$ zawierać może następujące parametry:

$R_{i1,1}$ - odległość od sygnalizatora początkowego relacji do sygnałowego miejsca końca pociągu odstępu, który relacja ta wyznacza;

$R_{i1,2}$ - odległość od sygnalizatora początkowego relacji do przebiegowego miejsca końca pociągu odstępu, który relacja ta wyznacza;

$R_{i1,3}$ - odległość od sygnalizatora początkowego relacji do tarczy ostrzegawczej sygnalizatora końcowego odstępu, który relacja ta wyznacza;

$R_{i1,4}$ - numer głowicy, do której ta relacja należy;

$R_{i1,5}$ - numer sygnalizatora początkowego odstępu, który relacja ta wyznacza;

$R_{i1,6}$ - numer połączenia znajdującego się przed relacją;

$R_{i1,7}$ - numer połączenia znajdującego się za relacją.

Każdy element P_{i1} zbioru $\overline{P}$ zawierać może następujące parametry:

$P_{i1,1}$ - numer głowicy ograniczającej to połączenie z jednej strony (lub numer punktu granicznego ze znakiem minus);

$P_{i1,2}$ - numer głowicy ograniczającej to połączenie ze strony przeciwnej (lub numer punktu granicznego ze znakiem minus);

$P_{i1,3}$ - numer sygnalizatora ograniczającego wjazd z połączenia na głowicę $P_{i1,1}$ (jeżeli to punkt graniczny $P_{i1,3}=0$);

$P_{i1,4}$ - numer sygnalizatora ograniczającego wjazd z połączenia na głowicę $P_{i1,2}$ (jeżeli to punkt graniczny $P_{i1,4}=0$);

$P_{i1,5}$ - długość połączenia na głowicy $P_{i1,1}$ do sygnalizatora $P_{i1,4}$;

$P_{i1,6}$ - długość połączenia na głowicy $P_{i1,2}$ do sygnalizatora $P_{i1,3}$.

Dla pełnego opisu struktury topologicznej rejonu sieci należy więc zdefiniować następujące macierze:

MACIERZ POŁĄCZEŃ:

$$\mathbf{P}=\left[\mathbf{P}_{i,j}\right]:\ i=1,\ldots,\mathrm{LPOL};j=1,\ldots,6$$

ZBIÓR MACIERZY RELACJI:

$$\left\{\mathbf{R}^{(k)}=\left[\mathbf{R}_{i,j}^{(k)}\right]:\ i=1,\ldots,\mathrm{LREL}(k);\ j=1,\ldots,7;\ k=1,\ldots,\mathrm{LGŁOW}\right\}.$$

Macierz połączeń $\mathbf{P}_{i,j}$ oraz zbiór macierzy relacji $\mathbf{R}_{i,j}^{(k)}$ opisuje pośrednio zbiór odstępów i głowic w rejonie sieci. Elementy tych macierzy, czyli odpowiednie parametry zbioru $\overline{R}$ i $\overline{P}$ opisują strukturę rejonu sieci. W macierzach tych mogą występować wartości równe 0, które można interpretować następująco:

- $\mathbf{P}_{i,3}=0$ lub $\mathbf{P}_{i,4}=0$ ÷ połączenie graniczne rejonu sieci (dla takiego przypadku odpowiednio $\mathbf{P}_{i,1}<0$ lub $\mathbf{P}_{i,2}<0$);
- $\mathbf{R}_{i,3}^{(k)}=0$ ÷ odległość od sygnalizatora początkowego relacji (odstępu) do tarczy ostrzegawczej sygnalizatora końcowego odstępu, który relacja ta wyznacza, jest równy zero, czyli sygnalizator początkowy relacji jest jednocześnie tarczą ostrzegawczą następnego sygnalizatora. Sytuacja taka może występować:

- dla sygnalizatorów SBL,
- dla sygnalizatorów, dla których realizowane są przebiegi bez zatrzymania.

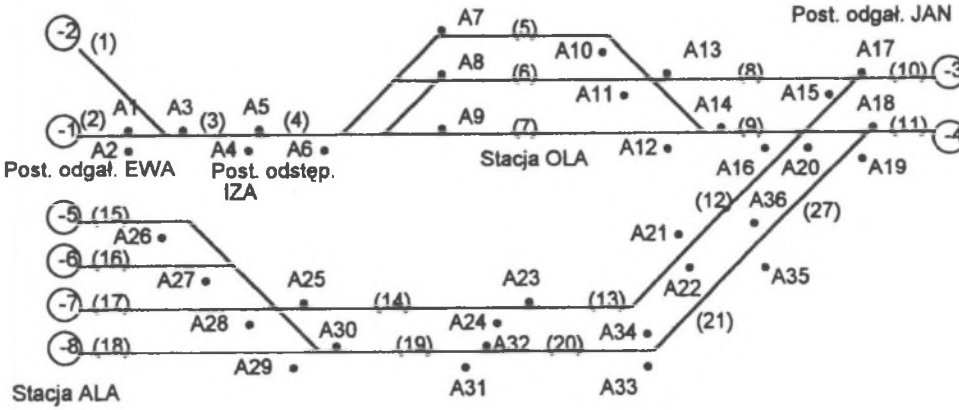
- $R_{i,1}^{(k)}=0 \wedge R_{i,2}^{(k)}=0 \wedge R_{i,3}^{(k)}=0$ ÷ relacje znajdują się na głowicy "zdegenerowanej", na której są tylko dwie relacje o wszystkich długościach zerowych. Sytuacja taka może występować:
  - przy sygnalizatorach SBL, blokady dwukierunkowej,
  - przy sygnalizatorach SBL, blokady jednokierunkowej (w takim przypadku w przeciwnym kierunku ruchu ustawione są sygnalizatory fikcyjne [...], na których jest zawsze sygnał zezwalający na jazdę z prędkością maksymalną);
  - przy sygnalizatorach odstępowych na posterunkach odstępowych.

Każdemu elementowi R_{i1} zbioru $\overline{R}$ odpowiada zbiór relacji sprzecznych do relacji R_{i1}, który można zdefiniować następująco:

ZBIÓR MACIERZY RELACJI SPRZECZNYCH:

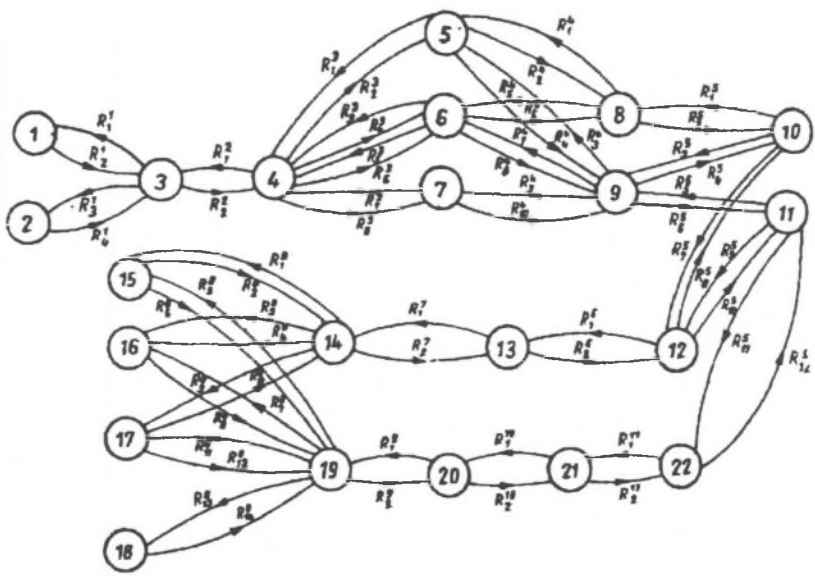
$$\left\{ \mathbf{S}^{(k)} = \left[S_{i,j}^{(k)} \right] : i=1,\ldots,\mathrm{LREL}(k);\ j=1,\ldots,7;\ k=1,\ldots,\mathrm{LGŁOW} \right\}.$$

Na rys.1. przedstawiono przykładowy układ torowy, składający się ze stacji OLA, dwóch posterunków odgałęźnych: EWA i JAN, szlaku dwutorowego, szlaku jednotorowego z posterunkiem odstępowym IZA, szlaku dwutorowego wyposażonego w samoczynną blokadę liniową oraz fragmentu stacji ALA. Rejon sieci przedstawiony na tym rysunku scharakteryzować można następującymi parametrami: LPOL=22, LGLOW=11, LPZ=8, LREL(1)=4, LREL(2)=2, LREL(3)=8, LREL(4)=10, LREL(5)=12, LREL(6)=2, LREL(7)=2, LREL(8)=14, LREL(9)=2, LREL(10)=2, LREL(11)=2, LODS=68, LSYGN=36. Elementy na rysunku opisano w następujący sposób: liczba naturalna w nawiasach oznacza kolejny numer połączenia rejonu sieci, sygnalizatory oznaczone są przez literę A z kolejnymi numerami umieszczonymi w pobliżu kropki oznaczającej miejsce ustawienia sygnalizatora, natomiast numer punktu granicznego - to kolejna liczba całkowita ujemna w okręgu.

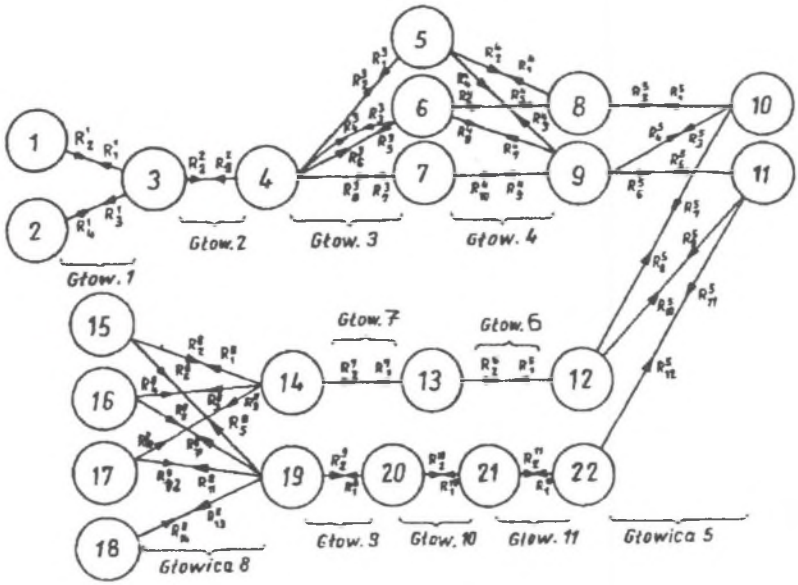


Rys. 1. Układ torowy przykładowego rejonu sieci
Fig. 1. Track system of a sample network area

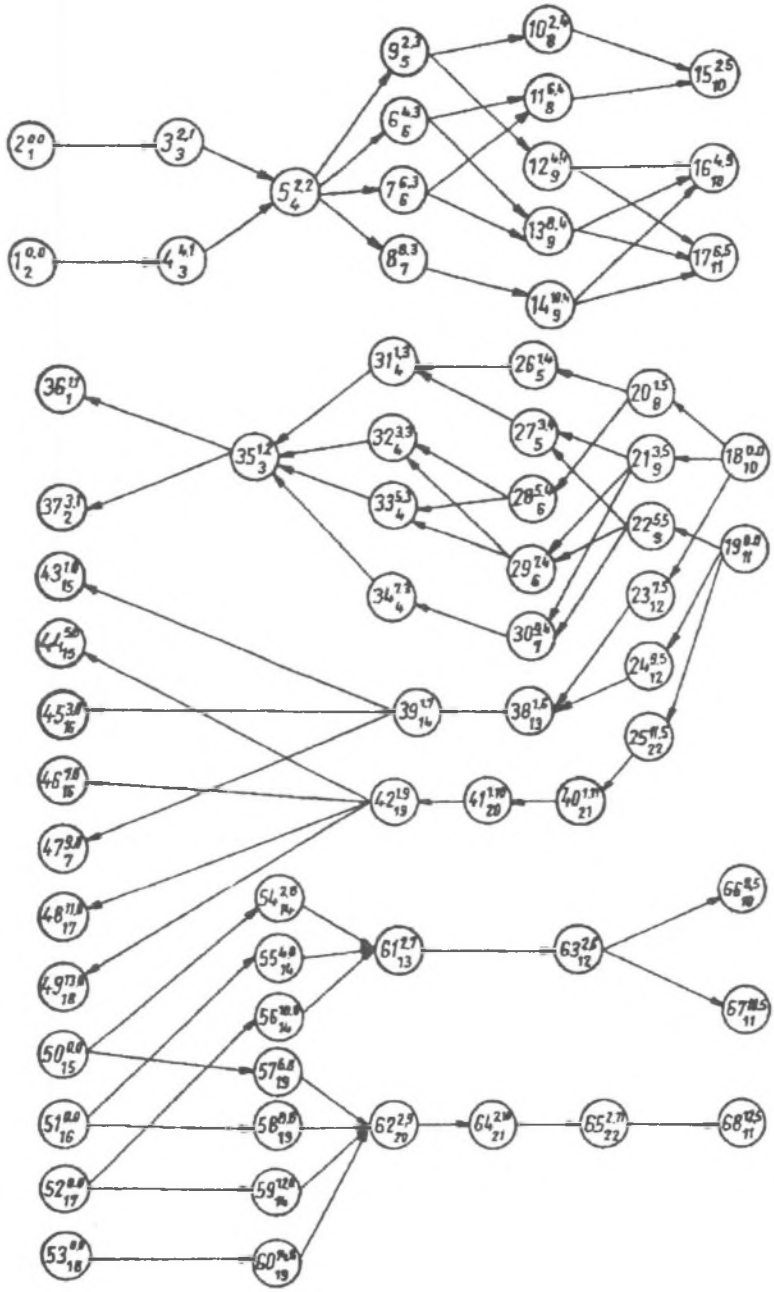
Na kolejnych rysunkach 2,3,4,5 przedstawione zostały grafy PR, PR**, OO oraz GP [2] opisujące strukturę tego rejonu sieci.



Rys.2. Graf PR opisujący strukturę topologii rejonu sieci przedstawionego na rys. 1
Fig. 2. PR Graph describing the topology structure of a network area shown in Figure 1

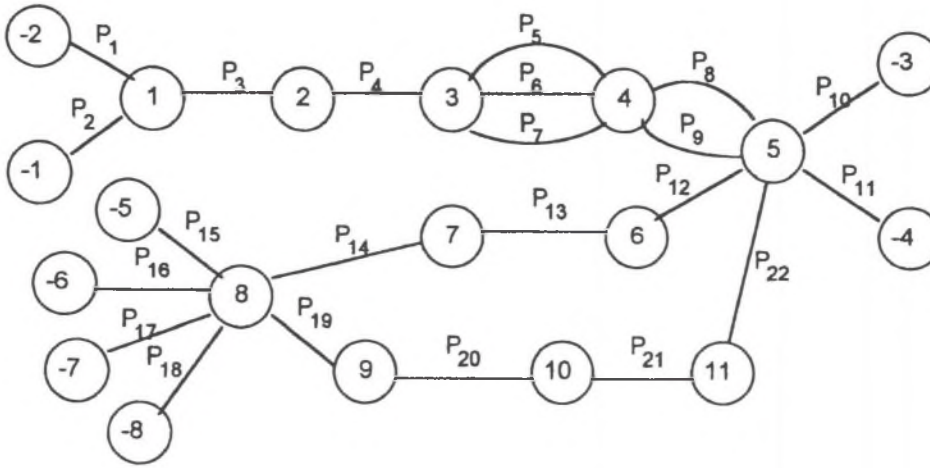


Rys. 3. Graf PR** opisujący strukturę topologii rejonu sieci przedstawionego na rys. 1
Fig. 3. PR** Graph describing the topology structure of a network area shown in Figure 1



Rys.4. Graf OO opisujący strukturę topologii rejonu sieci przedstawionego na rys. 1
Fig. 4. OO Graph describing the topology structure of a network area shown in Figure 1

Wierzchołki grafu OO przedstawiające odstępy rejonu sieci ($OO_z^{x,y}$) można interpretować następująco: x-numer relacji, y-numer głowicy, z-numer połączenia. Jeżeli x=y=0, to wierzchołek grafu reprezentuje odstęp graniczny. Na rys.4 nie zaznaczano możliwości zmiany kierunku ruchu pociągu.



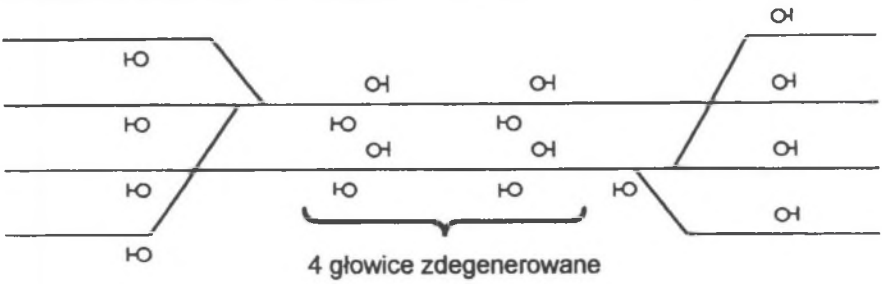
Rys.5. Graf GP opisujący strukturę topologii rejonu sieci przedstawionego na rys. 1
Fig. 5. GP Graph describing the topology structure of a network area shown in Figure 1

Omawiany rejon sieci, składający się z 60 relacji i 18 połączeń można opisać parametrycznie korzystajac z danych opisujących macierz połączeń **P** oraz zbiór macierzy relacji $\mathbf{R}^{(k)}$. W rejonie tym na szczególną uwagę zasługują niektóre fragmenty, wymagające szczegółowej interpretacji:

- na głowicy 3 z połączenia 4 na połączenie 6 (i odwrotnie) istnieje możliwość przejazdu wykorzystując różne drogi przebiegu; sytuacja taka wymaga zdefiniowania na głowicy takiej ilości relacji, aby uwzględnić wszystkie możliwe warianty przejazdu przez głowicę;
- na głowicy 2 (posterunek odstępowy) występują dwie relacje: R_1^2 i R_2^2; relacje te występują zgodnie z definicją relacji [2], mimo że na tym posterunku nie musi być ani jednego rozjazdu;
- głowice 6,7,9,10 i 11 są głowicami "zdegenerowanymi", na które wjeżdża się mijając sygnalizator SBL; każda z dwóch relacji głowicy "zdegenerowanej" charakteryzuje się tym, że $R_{i1,1}=R_{i1,2}=R_{i1,3}=0$;
- połączenia 12,13,14 oraz 19,20,21,22 tworzą odstępy obsługiwane przez SBL; w przypadku gdy blokada ta obowiązuje tylko w jednym kierunku ruchu, w kierunku

przeciwnym ustawione są sygnalizatory fikcyjne, na których jest zawsze sygnał zezwalający na jazdę z prędkością maksymalną.

Szczegółowy przykład głowic "zdegenerowanych" przedstawiono na rys.6.



Rys. 6. Przykłady głowic "zdegenerowanych"
Fig. 6. Examples of "degenerated" head

2. Macierze regulacyjne

Rozpatrując zbiór odstępów rejonu sieci można dla celów regulacyjnych zdefiniować następujące macierze:

MACIERZ PRZEJŚCIA {"zerowa" macierz pojemności regulacyjnej}:

$$\mathbf{A}^{(o)} = \left[\mathbf{A}^{(o)}_{i,j} \right] : i,j=1,\ldots,\mathrm{LODS}$$

ZBIÓR MACIERZY POJEMNOŚCI REGULACYJNEJ
{"pierwsza","druga",...,"n-ta"macierz pojemności regulacyjnej}:

$$\left\{ \mathbf{A}^{(k)} = \left[\mathbf{A}^{(k)}_{i,j} \right] \quad : i,j=1,\ldots,\mathrm{LODS};\ k=1,\ldots,\mathrm{LODS}-2 \right\}$$

Elementy macierzy przejścia $\mathbf{A}^{(o)}$ opisują następstwo odstępów rejonu sieci, sąsiadujących ze sobą. Elementy macierzy mogą przyjmować następujące wartości:

$A^{o}_{i,j}=1$ ÷ odstępy i,j sąsiadują ze sobą:

$A^{o}_{i,j}=0$ ÷ odstępy *i,j* sąsiadują ze sobą w sposób zwrotny;

$A^{o}_{i,j}=-1$ ÷ odstępy *i,j* nie sąsiadują ze sobą.

Odstępy *i* oraz *j* sąsiadują ze sobą, jeżeli sygnalizator końcowy odstępu *i* jest sygnalizatorem początkowym odstępu *j*.

Odstępy *i* oraz *j* sąsiadują ze sobą w sposób zwrotny, jeżeli na połączeniu odstępu *i* może nastąpić zmiana czoła pociągu, a odstęp *j* jest kolejnym odstępem po tej zmianie.

Na rys.1. przedstawiono sygnalizatory A1,...,A36, które wyznaczają odstępy tego rejonu:

- odstęp A13→A8 sąsiaduje z odstępem A8→A5;
- odstęp A13→A8 sąsiaduje w sposób zwrotny z odstępami A11→A16 oraz A11→A15 (między sygalizatorami A8 i A11 może nastąpić zmiana czoła pociągu).

Macierz przejścia $\mathbf{A}^{(o)}$ nie jest macierzą symetryczną (odstęp A13→A8 sąsiaduje z odstępem A8→A5, ale odstęp A8→A5 nie sąsiaduje z odstępem A13→A8). Na przekątnej głównej tej macierzy występują same zera.

Elementy kolejnych macierzy pojemności regulacyjnych $\mathbf{A}^{(k)}$ określają ilość pociągów o trasie *i, j*, które mogą mijać się , krzyżować lub wyprzedzać jednocześnie wykorzystując *k* kolejnych odstępów. Elementy kolejnych macierzy mogą przyjmować następujące wartości:

$A^{(k)}_{i,j}=-1$ ÷ nie ma możliwości przejazdu między odstępami *i* oraz *j* wykorzystując ***k*** kolejnych odstępów;

$A^{(k)}_{i,j}=0$ ÷ między odstępami *i* oraz *j* występuje dokładnie jedna możliwość przejazdu wykorzystując ***k*** kolejnych odstepów;

$A^{(k)}_{i,j}=n$ ÷ między odstępami *i* oraz *j* występuje *n* **dodatkowych** możliwości przejazdu wykorzystując ***k*** kolejnych odstępów.

Przy odliczaniu ***k***-kolejnych odstępów można wykorzystać sąsiedztwo odstępów realizowane w sposób zwrotny. Dla rysunku 1 można podać przykładowe wartości elementów zbioru macierzy pojemności regulacyjnych:

- i= (-1) → A2, j=A4 → A6; $A_{i,j}^{(0)}$=-1; $A_{i,j}^{(1)}$=0;pozostałe elementy: $A_{i,j}^{(k)}$: k=2,...,LODS-2 są równe -1.
- i=(-1)→ A2, j=A6→ A12; $A_{i,j}^{(0)}$=-1; $A_{i,j}^{(1)}$=-1; $A_{i,j}^{(2)}$=0; pozostałe elementy: $A_{i,j}^{(k)}$:k=3,...,LODS-2 są równe -1.

Macierze regulacyjne korespondują z grafem typu OO [2] przedstawionym na rysunku 4 dla przykładowego rejonu sieci. Szczegółowa analiza problemu pojemności regulacyjnej przedstawiona zostanie w odrębnym artykule niniejszego zeszytu.

3. Uwagi końcowe

Zbiór macierzy topologicznych oraz regulacyjnych opisuje statyczną strukturę układu torowego rejonu sieci kolejowej w każdej kolejnej chwili t. Umożliwia to jednoznaczne odwzorowanie dyskretne układu torowego dowolnie wybranego do badań rejonu sieci kolejowej. Każdą zmianę aktualnego układu torowego rejonu sieci (dla t_x>t), wynikającą np. z sytuacji awaryjnej można natychmiast odwzorować w wymienionym zbiorze macierzy. Na tak opisaną strukturę statyczną można nałożyć strukturę dynamiczną, którą dla problemów regulacji ruchu pociągów można zdefiniować następująco:

- opis dynamiki potoków ruchu,
- opis dynamiki zakłóceń ruchowych,
- opis dynamiki aktualnie realizowanej strategii decyzyjnej,
- opis struktury generatora optymalnej strategii decyzyjnej dla kolejnych chwil t.

Literatura

1. KRAWIEC S.: Model symulacyjny ruchu pociągów na sieci kolejowej dla potrzeb regulacji. Praca doktorska, Szczecin 1992.
2. KRAWIEC S.: Odwzorowanie topologii rejonu sieci kolejowej dla potrzeb regulacji ruchu pociągów. (artykuł zawarty w niniejszym zeszycie).
3. LESZCZYŃSKI J.: Optymalne decyzje w procesach transportowych. WKiŁ, Warszawa 1981.

4. WOCH J.: Podstawy inżynierii ruchu kolejowego. WKiŁ, Warszawa 1983.
5. ZEIGLER B.P.: Teoria modelowania i symulacji. PWN, Warszawa 1984.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Krzysztof Chwesiuk

Wpłynęło do Redakcji 10.11.1995 r.

Abstract

According to the presented definitions the following sets of elements may be distinguished in every network area: spacings, junctions, relations, heads, running and signalling ends-of-train points, signalling units, warning boards, boundary points. These elements together with the parameters witch describe them allow unambiguous discrete mapping of the track system of a freely selected part of the railway network. together they forma static structure for an arbitrary instant t. Each change in the actual track system for $t_x > t$ due to an emergency situation may instantly be mapped discretely. This allows the superposition of a dynamic structure (traffic streams) and the decision structure (traffic control) on a static structure actual in a given instant t. This allows the train traffic control problem to be regarded as task queuing problem.