ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989
Seria: TRANSPORT z. 13 Nr kol. 1034

Ryszard JANECKI

MODELOWANIE RUCHU POCIĄGÓW - CZ.II
MODELE RUCHU POCIĄGÓW DLA POTRZEB PKP

Streszczenie. Artykuł jest kontynuacją rozważań dotyczących tematyki modelowania ruchu pociągów przedstawionych w artykule pt. "Modelowanie ruchu pociągów - cz.I. Wybrane rozwiązania obcych zarządów kolejowych". Zaprezentowano w nim dokonania w tym zakresie zrealizowane dla potrzeb PKP omawiając kolejno symulator ruchu pociągów na Centralnej Magistrali Kolejowej oraz model symulacyjny przemieszczania pociągów i sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej.

W pierwszym przypadku zadaniem symulatora ma być planowanie rozwoju sytuacji ruchowej oraz sygnalizowanie konfliktów i zakłóceń w ruchu pociągów. System komputerowy tworzyć będzie automatycznie następujące dokumenty: wykres rzeczywistego biegu pociągów, wykazy pociągów opóźnionych oraz raporty o regularności biegu pociągów. Model symulacyjny przemieszczania pociągów i sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej jest przykładem rozwiązań dotyczących rozstrzygania konfliktowych sytuacji ruchowych.

W dalszej części artykułu omówiono aktualny stan badań symulacyjnych ruchu pociągów w kraju, wskazując na stosunkowo niewielkie wykorzystanie praktyczne zaprezentowanych rozwiązań.

1. Uwagi wstępne

Niniejszy artykuł jest kontynuacją rozważań odnoszących się do tematyki modelowania ruchu pociągów w wybranych zarządach kolejowych przedstawionych w artykule pt. "Modelowanie ruchu pociągów - cz.I. Wybrane rozwiązania obcych zarządów kolejowych". W niniejszej publikacji zaprezentowano dokonania w tym zakresie zrealizowane dla potrzeb PKP.

2. Symulator ruchu pociągów na Centralnej Magistrali Kolejowej PKP

Centralna Magistrala Kolejowa CMK Polskich Kolei Państwowych jest nową linią kolejową przystosowaną do prowadzenia intensywnego ruchu pociągów z dużymi prędkościami. Struktura rodzajowa kursujących na tej magistrali pociągów jest niejednorodna (pociągi towarowe i pasażerskie). Omawiana linia przewidywana jest na przyszłość, jako poligon dla komputerowego sterowania ruchem pociągów. Ruch pociągów na tej liczącej 218 km linii

kolejowej ma być bowiem prowadzony z jednego Centrum Sterowania Ruchem [3], [4], [5], [7].

Dla potrzeb projektowanego systemu sterowania opracowano koncepcję modeli symulacyjnych rozwoju sytuacji ruchowej. Zadaniem symulatora ma być planowanie rozwoju sytuacji ruchowej oraz sygnalizowanie konfliktów i zakłóceń w ruchu.

Dla realizacji zadań systemu sterowania konieczne jest odwzorowanie (odtworzenie) konfiguracji CMK w pamięci EMC. Zapis konfiguracji układu torowego CMK zamieszczono w tablicach konfiguracji sieci TKS. Elementy układu torowego zapisano w postaci segmentów zawierających informacje o wzajemnym ich połączeniu, o ich stanie oraz znajdujących się w nich pociągach. Wprowadzono pięć rodzajów segmentów:

- segment stacji ograniczającej SO, odpowiadającej stacji stycznej, tj. takiej, która nie jest objęta zdalnym sterowaniem,
- segment szlakowy SS,
- segment stacyjny krótki SSK opisujący odcinek izolowany między semaforem wjazdowym i pierwszą zwrotnicą lub między ostatnią zwrotnicą a semaforem wyjazdowym, a także krótki odcinek torowy będący między zwrotnicami,
- segment zwrotnicowy SZ będący formą opisu zwrotnicy,
- segment stacyjny długi SSD, który jest formą opisu odcinka izolowanego stacyjnego toru głównego zasadniczego lub dodatkowego.

Na przykład segment zwrotnicowy SZ zawiera następujące informacje:

- nr zwrotnicy i jej aktualne położenie,
- adres sąsiada zwrotnicy w położeniu "+",
- adres sąsiada zwrotnicy w położeniu "-",
- adres sąsiada zwrotnicy od strony iglicy,
- zwrotnica w przebiegu utwierdzonym,
- stan zwrotnicy (wolna, zajęta),
- utwierdzenie bloku zwrotnicy.

W celu opisania wszystkich wymaganych danych dotyczących pociągów kursujących na CMK opracowana została tablica rozkładu jazdy TRJ składająca się z czterech tablic TRJ1, TRJ2, TRJ3a, TRJ3b. I tak np. tablica TRJ1 zawiera opisy techniczne wszystkich pociągów kursujących na CMK, tablica TRJ2 - szczegółowy rozkład jazdy każdego pociągu.

Oprócz tablic TKS i TRJ niezbędne dla funkcjonowania systemu są następujące zbiory danych:

- pomocnicza tablica semaforów stacyjnych SEMSTAC,
- pomocnicza tablica tarcz manewrowych TARMAN,
- tablica przebiegów TP,
- tablice danych do programu symulacji TDS_1 - TDS_n, w których dla każdego rozkładowego pociągu określone są kolejne segmenty torów szlakowych i stacyjnych, po których dany pociąg powinien zasadniczo przejeżdżać oraz dane do obliczania czasów zajmowania przez pociąg poszczególnych

segmentów, a także chwil czasowych, w których powinny być wydane polecenia ustawienia dróg przebiegów,
- tablica planowych czasów zajęcia segmentów CMK-TPC,
- tablica planowych wjazdów i wyjazdów pociągów ze stacji TPK,
- tablica poleceń nastawienia przebiegów TPN.

Zadaniem symulatora ma być opracowywanie dla każdego pociągu planu jego przejazdu przez CMK, wykrywanie powstających w fazie ruchu konfliktów oraz przygotowywanie projektów poleceń dotyczących nastawiania dróg przebiegu.

Planowana droga przejazdu pociągu jest określana na podstawie danych zawartych w tablicach TDS. Weryfikacja tych dróg odbywa się na podstawie tablic TDC. W tablicy TPN zapisywane będą polecenia nastawienia dróg przebiegu dla planowanych dróg przejazdu pociągu, zweryfikowanych - dla których w fazie planowania nie występują sytuacje konfliktowe i zapisanych w tablicy TP. Przejazdy pociągów zaplanowane i umieszczone w tej tablicy mogą być aktualizowane z chwilą wykrycia i konieczności rozwiązania konfliktu, o którym wcześniej nie było wiadomo.

Jako horyzont symulacji przyjmować się będzie czas 15 minut (w przypadku jeśli pokrywa się z czasem przejazdu pociągu przez odcinek linii wraz z najbliższą stacją) lub czas wynikający z danego, rzeczywistego przejazdu pociągu przez odcinek linii wraz z najbliższą stacją (jeżeli jest dłuższy od 15 minut).

System komputerowy tworzyć będzie w automatyczny sposób następujące dokumenty:
- wykres rzeczywistego biegu pociągów,
- wykaz opóźnionych pociągów pasażerskich,
- wykaz pociągów towarowych, kursujących w odstępstwie od rozkładu jazdy,
- raporty o regularności biegu pociągów pasażerskich i towarowych.

Przedstawione rozwiązania do chwili obecnej nie znalazły praktycznego zastosowania na Centralnej Magistrali Kolejowej.
Autorzy pracy [4] stwierdzają konieczność oprogramowania, przetestowania i ewentualnej korekty opracowanych dla potrzeb systemu podstawowych algorytmów. W zakresie zaś automatycznego rozwiązywania konfliktów przez symulator wskazują, że zagadnienie ..."pozostaje nadal otwarte, gdyż jest to na obecnym etapie prac problem zbyt odległy"...

3. Model symulacyjny przemieszczania pociągów i sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej

Model symulacyjny przemieszczania pociągów i sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej opracowany przez A.Wolfenburga [6], [9], [10] jest przykładem rozwiązań dotyczącym rozstrzygania konfliktowych sytuacji ruchowych.

W modelu przemieszczania pociągów obiektami są pociągi i elementy układu torowego, po których pociągi te mogą się przemieszczać. Relacjami, które wiążą te obiekty, są zmienne w czasie relacje zajęcia i zwolnienia elementów układu torowego. Natomiast w modelu sterowania ruchem, obiektami są sygnały opisujące stan urządzeń srk, a relacjami - równania logiczne, które opisują związki między tymi sygnałami.

Opis formalny charakterystyki techniczno-ruchowej rejonu sieci kolejowej polega na określeniu rodziny T zbioru typów elementów układu torowego. Elementami tej rodziny zbioru T są zbiory T_j elementów poszczególnych typów: zwrotnic, semaforów, torów itp.

Każdemu elementowi T_{ji} $T_{ji} \in T_j$ przyporządkowano uporządkowany zbiór zakończeń Z_{ji} o liczności zależnej od typu j dla tego elementu. Zdefiniowano funkcję f, zwaną funkcją opisu układu torowego, która sumę zbiorów Z_{ji} odwzorowuje na sumę zbiorów T_j. Przedstawiona w prezentowanych opracowaniach metoda opisu rejonu sieci kolejowej umożliwia zapisanie struktury układu torowego rejonu na polu pamięci o rozmiarach ponad dwukrotnie mniejszych niż w innych metodach dotychczas wykorzystywanych w kraju.

Zgodnie z przyjętym obszarem zainteresowań w niniejszym artykule omówiono szczegółowo model przemieszczania pociągów w rejonie sieci kolejowej.

Zadaniem modelu ruchu pociągów na poligonie sieci kolejowej jest odwzorowywanie sytuacji pociągowej w czasie. Symulacyjne funkcjonowanie modelu powinno zapewniać kontrolę położenia pociągów o konkretnych numerach oraz obecności pociągów na konkretnym odcinku linii. Oprócz tego, model powinien zawierać informacje o parametrach ruchu każdego pociągu znajdującego się na poligonie.

Przy symulacji przemieszczania pociągów znajduje zastosowanie dyskretna metoda kolejnych zdarzeń, w której momenty czasu są zsynchronizowane z czasem realnym. W taki sposób uzyskuje się symulację dyskretną, a model wykorzystywany w takiej symulacji staje się modelem o czasie rzeczywistym.

W modelu przemieszczania obiektami są pociągi i odcinki torów, po których mogą przemieszczać się pociągi. Połączenie tych obiektów w modelu realizuje się za pomocą informacji o zajętości i zwolnieniu odpowiednich odcinków toru przez pociągi. W procesie modelowania ustalany jest moment zajętości i zwolnienia odcinków toru, normatywna i rzeczywista prędkość ruchu pociągów, momenty i czas trwania postojów, rozruchu, jazdy ze stałą prędkością i hamowania.

Oprócz stałej informacji o strukturze układu torowego i charakterystykach techniczno-eksploatacyjnych w modelu formułuje się wykaz pociągów uporządkowanych według ich numerów. Zarejestrowanie pociągu w wykazie realizuje się w momencie pojawienia się pociągu na poligonie i skreśla się po opuszczeniu przez pociąg poligonu. Obok numeru w wykazie rejestruje się stałe (np. długość) i zmienne (np. prędkość)

charakterystyki pociągu. Model obejmuje algorytmy obsługi typowych sytuacji, powstających podczas przemieszczania pociągu, tj. generowanie wejściowego potoku pociągów, obliczenie czasu zajętości i zwolnienia przez pociąg odcinka toru, zestawienie i kontrola dróg przebiegu.

W systemie modelowania przemieszczania pociągów powstają różne sytuacje ruchowe związane z rozmaitymi wariantami położenia czoła i końca pociągu w stosunku do granic odcinków blokowych. Na ruch danego pociągu mają wpływ stan sygnałów oraz miejsce znajdowania się poprzedzającego go pociągu. Przy opracowaniu modelu dopuszcza się zmianę parametrów opisujących proces ruchu pociągów podczas jego ruchu na odcinku w każdym momencie. Możliwe jest również uwzględnienie warunków zewnętrznych, powodujących zmianę kolejności i interwałów czasu występowania zaplanowanych zdarzeń. Informacja o zmianie warunków zewnętrznych wprowadzana jest przez operatora EMC za pomocą monitora w charakterze informacji o zmianie położenia zwrotnic i stanu sygnałów.

Dla niektórych zastosowań modelu przemieszczania pociągów konieczne było odtworzenie uproszczonej dynamiki ruchu pociągów zapisanej równaniem ruchu:

$$\ddot{x} + \frac{k}{M}\dot{x} = \frac{U}{M} + g \sin\alpha$$

gdzie:

- x - droga przebyta przez pociąg,
- k - współczynnik proporcjonalności oporów biegu do prędkości,
- M - masa pociągu,
- U - siła pociągowa lub siła hamująca,
- α - kąt pochylenia toru.

Omówiony model symulacyjny przemieszczania pociągów został zrealizowany dla rejonu sieci kolejowej, który stanowił 70-kilometrowy odcinek nowo wybudowanej linii kolejowej. W systemie znajdowało się od 1 do 4 pociągów jadących z prędkościami od 100 do 250 km/h. Model symulacyjny ma postać zestawu programów zrealizowanych w językach ALGOL, FORTRAN na EMC Odra serii 1300. Według autora modelu można symulować ruch maksymalnie 20 pociągów, a środkiem pozwalającym zwiększyć efektywność oprogramowania jest przepisanie większości programów na język PLAN [10].

4. Podsumowanie

Aktualny stan badań symulacyjnych ruchu pociągów w kraju można przedstawić następująco:

- W latach 70-tych podjęto prace studialne nad systemem zdalnego

sterowania ruchem pociągów na CMK. Prace te obecnie weszły w stadium wdrożeniowe. W ramach tych prac podjęto zagadnienie modelowania ruchu pociągów na CMK wykorzystując metody segmentowe.

- Praca dotycząca modelowania ruchu pociągów i jego zastosowań w procesach wspomagania decyzji dyspozytorskich była realizowana w Politechnice Warszawskiej przez A. Wolfenburga. Praca ta zakończona została opracowaniem modelu odcinka linii kolejowej, po którym przemieszczane jest od 1 do 4 pociągów. Model ten zrealizowano również metodą segmentową.
- Interesujące wyniki uzyskał zespół z Instytutu Badań Systemowych PAN (J. Sokołowski, K. Chwesiuk, J. Romaniuk, B. Bartnicka, T. Wilczek) [1] pod koniec lat 70-tych. Przeprowadzono próby dla odcinka Warszawa Wileńska-Tłuszcz. Prace te doprowadzono do fazy weryfikacji modelu. Autorzy z IBS PAN posługiwali się również metodą segmentową, ale badania ich charakteryzowały się wysokim poziomem informatycznym.
- System Oceny Układów Torowych (SOUT) - realizowany przez zespół CNTK pod kierunkiem J. Wocha [8] został zakończony, a rezultaty opracowania przekazano do kolejowych biur projektów. System ten jest wykorzystywany jako narzędzie wspomagające w zakresie programowania rozwoju sieci i kształtowania struktury obciążenia ruchowego, tzn. do bilansowania potrzeb i możliwości linii i stacji kolejowych.
- W latach 1985-1987 badania w zakresie omawianej problematyki w odniesieniu do rejonów sieci kolejowej prowadził B. Dmochowski [2]. Mają one charakter początkowych badań studialnych. W wymienionej pracy zaprezentowano m.in. ciekawą koncepcję opisu topologii rejonu sieci kolejowej oraz przedstawiono propozycję badania dynamiki ruchu pociągów w oparciu o teorię przepustowości obiektów kolejowych.
- Od roku 1985 zespół pracowników Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej (R. Konieczny, S. Krawiec, R. Janecki, A. Dydo, K. Dąbała) prowadzi prace badawcze w zakresie modelowania symulacyjnego ruchu pociągów. Niniejsze wydawnictwo prezentuje wybrane wyniki prac wymienionego zespołu badawczego.

LITERATURA

[1] Bartnicka-Rajkowska B. i in.: Metoda eksperymentalnego projektowania linii kolejowych dla potrzeb warszawskiego węzła kolejowego. Praca Inst. Badań Systemowych PAN, Warszawa 1979.

[2] Dmochowski B.: Modelowanie rejonu sieci kolejowej. Maszynopis niepublikowany, Warszawa 1987.

[3] Koncepcja i założenia ruchowe komputerowego sterowania ruchem na CMK. Praca COBiRTK, Warszawa 1979.

[4] Stolarski M. i in.: Algorytmy komputerowego sterowania ruchem ruchem

pociągów na CMK. Praca COBiRTK, Warszawa 1979.
[5] System automatycznego sterowania ruchem na CMK, projekt koncepcyjny. Praca Inst. Automatyki PW, Warszawa 1974.
[6] Systems approach for frozen coal. Progr. RAILROAD nr 12/1982.
[7] Układ komputerów komunikacyjnych dla systemu sterowania CMK, część A - komputery komunikacyjne. Praca Inst. Automatyki PW, Warszawa 1976.
[8] Woch J.: Podstawy inżynierii ruchu kolejowego. WKiŁ, Warszawa 1983.
[9] Wolfenburg A.: Wielofunkcyjny symulacyjny model systemu przemieszczania pociągów i systemu sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej. Politechnika Warszawska 1979.
[10] Wolfenburg A.: Wielofunkcyjny symulacyjny model systemu przemieszczania pociągów i systemu sterowania ruchem w rejonie sieci kolejowej w czasie rzeczywistym. Automatyka Kolejowa nr 11-12/1981

MODELLING TRAIN TRAFFIC (PART 2) - TRAIN TRAFFIC MODELS FOR THE POLISH STATE RAILWAY'S NEEDS

Summary

The paper is a continuation of the consideration which refers to the subject matter of train traffic modelling and has been presented in the paper "Modelling Train Traffic - Part 1. Selected Solutions of Foreign Railway Administrations". The achievements in this sphere realized for the Polish State Railway's needs have been presented in that paper discussing in turn the train traffic simulator on the Central Railway Trunk Line and the simulation model of trains relocation and traffic control in a railway system area.

In the first case the simulator task is to plan the development of motorial situation and to signal the conflicts and disturbances in the train traffic. Computer system will be creating automatically the following documents: the real train's run (speed) diagram, lists of trains behind time and reports on regularity of trains' runs. The simulation model of train relocation and traffic control in a railway system area is an example of the solutions that refer to solving conflict motorial situations.

In the further part of the paper the current state of simulation research of domestic train traffic, indicating relatively small practical use of presented solutions has been presented.

MODELLIERUNG DES ZUGVERKEHRS - TEIL II. MODELLE DES ZUGVERKEHRS FÜR PKP

Zusammenfassug

Der Aufsatz setzt die Betrachtungen zur Thematik der Zugverkehrsmodellierung fart, die im Aufsatz "Modellierung des Zugverkehrs - Teil I. Ausgewählte Lösungen fremder Eisenbahnverwaltungen" dargestellt wurden. Der Aufsatz präsentiert Leistungen auf diesem Gebiet, die für PKP realisiert wurden. Es wurden beschreiben der Reihe nach: der Simulator des Zugverkehrs für die Zentrale Eisenbahnmagistrale sowie das Simulationsmodell der Zugverschiebung und der Verkehrssteuerung im Bereich des Eisenbahnnetzes.

Im ersten Fall besteht die Aufgabe des Simulators in der Planung der Entwicklung der Verkehrssituation sowie in der Sigualisierung von Konflikten und Störungen im Zugverkehr. Der Rechnersystem wird automatisch folgende Dokumente erstellen: Diagramm des realen Zugverlanfs, Diagramme der verspätenen Züge sowie Raporte zur Regularität von Zugverläufen. Das Simulationsmodell der Zugverkehrschriebung und Verkehrssteuerung im Bereich des Eisenbahnetzes stellt ein Beispiel der Lösungen von Konfliktsituationen im Zugverkehr dar.

Im weiteren Teil des Aufsatzes wurde aktualler Zustand der Simulationsfarschung auf dem Gebiet des Zugverkehrs im Lande beschprochen. Dabei wurde daraf hingewiesen, daß die dargestellen praktischen Lösungen Verhältnismäßig geringer Einsatz finden.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ - часть II. МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ДЛЯ НУЖД ПКП

Резюме

Статья является продолжением рассуждений, касающихся моделирования движения поездов, оговоренных в первой части. В статье показаны проведенные работы в этой отрасли в ПКП по симулированию движения поездов на Центральной Железнодорожной Магистрали, а также по симулированию движения поездов и управления в переделе железнодорожной сети.

В первом случае задачей симулятора является планирование развития ситуации движения и сигнализирование конфликтов и возмущений в движении поездов. Компьютерная система будет генерировать следующие докоменты: график действительного движения поездов, список опаздавших поездов а также рапорты о регулярности езды поездов.

В дальнейшей части статьи оговорено современное состояние симуляционных исследований движения поездов в стране.