

Wiesław Traczyk, Piotr Misiurewicz, Krzysztof Sacha, Andrzej Rydzewski
Politechnika Warszawska

KOMPUTEROWE SYSTEMY STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Streszczenie: Przemieszczanie się pociągów po izolowanych odcinkach torowych i zwrótnicach z sygnalizacją zajętości sprawia, że sieć kolejowa staje się złożonym obiektem dynamicznym o dyskretnych sygnałach kontroli i sterowania. Komputerowe systemy sterowania takimi sieciami i główne problemy związane z ich budową stanowią treść tej pracy.

1. Zadania i organizacja systemów

W Instytucie Automatyki Politechniki Warszawskiej prowadzone są prace nad projektem koncepcyjnym i technicznym komputerowego systemu kontroli dyspozytorskiej Warszawskiego Węzła Kolejowego (WWK) oraz nad projektem koncepcyjnym komputerowego systemu sterowania ruchem na Centralnej Magistrali Kolejowej (CMK).

System kontroli dyspozytorskiej WWK umożliwia ciągłą obserwację przez centralnego dyspozytora aktualnej sytuacji ruchowej w węźle. Sytuacja ta jest przedstawiana na planie świetlnym, na podstawie informacji o stanie urządzeń zrk i pulpity dyspozytorów stacyjnych, przesyłanych do centrali dyspozytorskiej przy pomocy systemu transmisji danych.

Funkcje systemu kontroli dyspozytorskiej są następujące:

- śledzenie ruchu pociągów i ich identyfikacja na podstawie informacji o stanie węzła otrzymywanych z systemu transmisji oraz przekazywanie informacji o położeniu i numerach pociągów na tablicę świetlną;
- sporządzanie wykresu obrazującego położenie pociągów w węźle oraz zbieranie i drukowanie informacji statystycznych dotyczących regularności ruchu pociągów;
- meldunki o sytuacjach awaryjnych w węźle.

Komputerowy system sterowania ruchem na CMK ma być budowany w kilku etapach i docelowo ma realizować następujące zadania: przygotowywanie przebiegów pociagowych (poprzez odpowiednie ustawienie zwrótnic na stacjach), kontrola i korekta rozkładów jazdy, sporządzanie dokumentacji ruchu. W pierwszym etapie sterowanie będzie realizowane przez dyspozytora na podstawie propozycji, wypracowanych przez system komputerowy. System ten musi wówczas otrzymywać informację o stanie urządzeń magistrali, śledzić za położeniem pociągów i przekazywać uzyskane informacje dyspozytorowi.

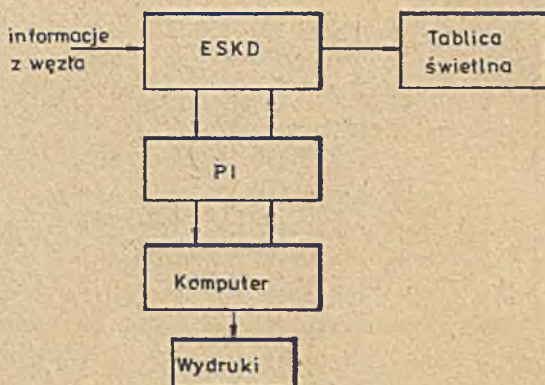
Jak widać, w obydwu pracach występują podobne zagadnienia, które

wydają się być typowymi problemami przy automatyzacji tego typu procesów dyskretnych i zawierają:

- wybór struktury systemu i podział zadań;
- tworzenie bazy danych;
- śledzenie ciągłego ruchu pociągu na podstawie dyskretnych danych;
- przetwarzanie danych w czasie rzeczywistym;
- dokumentację ruchu i pracy systemu;
- przekazywanie informacji pomiędzy systemem a dyspozytorem.

Przy podejmowaniu decyzji dotyczących struktury systemu, przyjęto zasadę maksymalnego wykorzystania gotowych typowych rozwiązań i urządzeń. W związku z tym w komputerowym systemie kontroli dyspozytorskiej WWK wykorzystano istniejący system ESKD, realizujący transmisję danych z węzła i sterowanie tablicą świetlną, a w systemie sterowania ruchem na CMK - specjalizowany kolejowy system transmisji danych i zdalnego sterowania BUSZ. W obu przypadkach jako układ pośredniczący wykorzystano przemysłowy system sprzęgający PI.

Schemat blokowy komputerowego systemu kontroli dyspozytorskiej WWK jest przedstawiony na rys. 1. Jako komputer będzie tu pracować MKRA-400

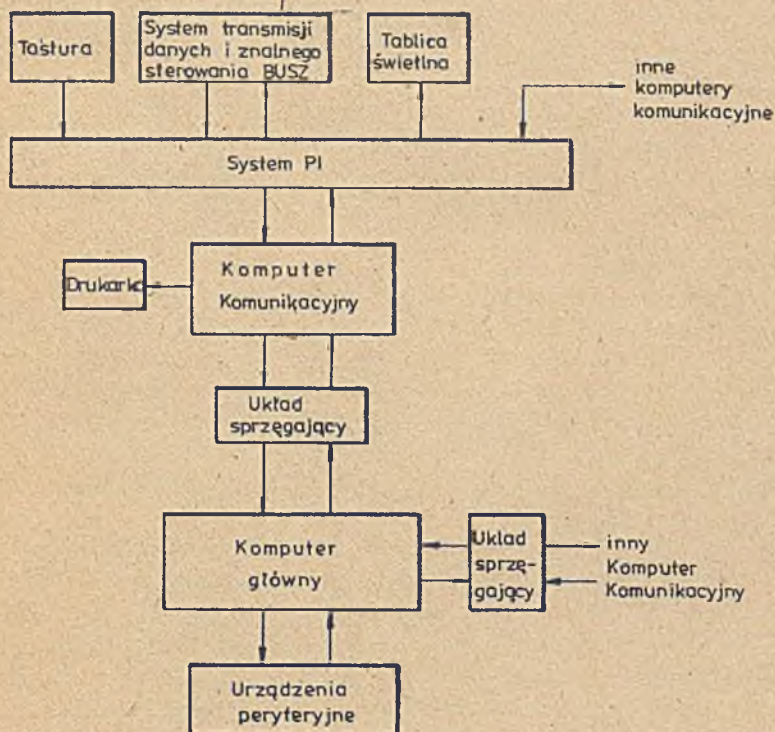


Rys. 1. Struktura systemu kontroli dyspozytorskiej WWK

z systemem operacyjnym SOM-3. Funkcje systemu implikują podział programów użytkowych na trzy grupy: programy komunikacji z ESKD, program śledzenia ruchu pociągów i programy dokumentacji pracy węzła. Programy odbierania meldunków są uruchamiane przy zgłoszeniach przerw, programy dokumentacji - cyklicznie co określony czas, program śledzenia pociągów jest programem tła.

Z uwagi na złożone funkcje i wieloetapowość realizacji system sterowania ruchem na CMK ma strukturę hierarchiczną. Funkcje systemu są

podzielone pomiędzy komputery komunikacyjne i komputer główny (rys. 2). Dwa lub trzy komputery komunikacyjne będą obsługiwać odrębne fragmenty CMK.



Rys. 2. Struktura systemu sterowania ruchem na CMK

Do głównych zadań każdego z komputerów komunikacyjnych należy:

- przyjmowanie z układu transmisji danych meldunków o stanie CMK i numerach wjeżdżających pociągów oraz kontrola poprawności tych meldunków;
- przyjmowanie i kontrola poleceń wydawanych przez dyspozytora za pośrednictwem tastatury, przekazywanie tych poleceń do układu zdalnego sterowania, kontrola ich wykonania przez obiekty sterowane;
- śledzenie ruchu pociągów i sterowanie wyświetlaniem numerów pociągów na planie świetlnym;
- przekazywanie przetworzonej informacji do komputera głównego i do pozostałych komputerów komunikacyjnych.

Komputer główny na podstawie informacji otrzymywanych od komputerów komunikacyjnych będzie realizował złożone programy planowania ustawienia

przebiegów, kontroli i korekty rozkładu jazdy, dokumentacji ruchu i komunikacji z dyspozytorami. Jako komputery komunikacyjne zaproponowano wstępnie minikomputery MERA-300, jako komputer główny - ODPA 1325. W związku z tym opracowano moduł sprzęgający MERA-ODPA oraz specjalne oprogramowanie dla obsługi współpracy tych komputerów, pracujące pod kontrolą standardowego egzekutora.

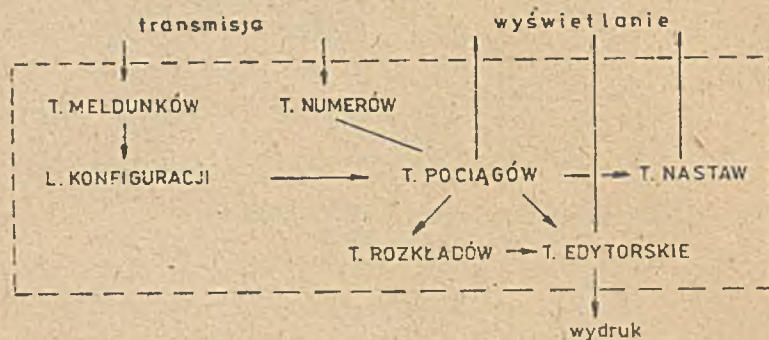
Opracowano również prosty egzekutor dla minikomputera MERA-300, umożliwiający współbieżne wykonywanie programów (zadań) czasu rzeczywistego.

Program śledzenia pociągu jest wykonywany jako zadanie tła o najniższym priorytecie. Przerwania od systemu transmisji danych uruchamiają nieprzerywalne programy przyjmowania i kontroli meldunków. Pozostałe programy są zadaniami, uruchamianymi okresowo przez egzekutor.

2. Główna baza danych

W projektach systemów dużą wagę przypisano organizacji bazy danych. Tworzące ją tablice, listy, skorowidze itp. budowane są tak, aby rozszerzenie zakresu sieci (magistrali lub węzła), zmiany konfiguracji sieci lub niektórych funkcji mogły być uwzględniane przez dosyć łatwą modyfikację tablic, bez zmian w głównych algorytmach przetwarzania informacji. Struktury bazy danych w systemach CMK i WVK są podobne.

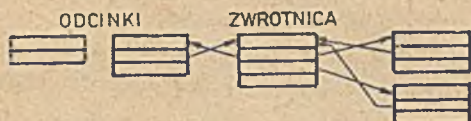
Uproszczony przepływ informacji między głównymi tablicami bazy danych przedstawiono na rys. 3



Rys. 3. Uproszczony przepływ informacji

Liniami transmisji docierają do centrali dane dwójakiego rodzaju: o stanie obiektów stacjonarnych tzn. odcinków, zwrotnic itp. (lokowane w tablicy meldunków) oraz o numerach pociągów wprowadzanych do obszaru nadzorowanego przez system (lokowane w tablicy numerów). Ze względu na wymaganą dużą szybkość odbierania informacji z linii, otrzymywane dane są w wymienionych tablicach lokowane w postaci naturalnej, bez przetwarzania lub przeszukiwania co sprawia, że tablice meldunków zawiera trudno czytelne (dla dalszych algorytmów) zwarte stany obiektów. Ponieważ dla algorytmów śledzenia ruchu pociągów niezbędna jest informacja o struk-

turze sieci (tzn. powiązaniach między odcinkami torowymi i zwrotnicami), te stałe dane są umieszczone w tablicy konfiguracji, o strukturze listowej. Lista konfiguracji (rys. 4) składa się z segmentów odpowiadających odcinkom i zwrotnicom, a kolejność ułożenia segmentów w pamięci lub zawarte w segmentach adresy umożliwiają łatwe odszukanie obiektów sąsiednich.



Rys. 4. Powiązania na liście konfiguracji

Dane o stanie zwoznic i odcinków są przepisywane z tablicy meldunków do listy konfiguracji, co umożliwia śledzenie ruchu pociągu (przez badanie zajętości odcinków) i prawidłowości nastaw przebiegów (położenia zwoznic).

Numery pociągów są 6-cyfrowe, a na jednym odcinku może znaleźć się kilka pociągów, więc zarezerwowanie w liście konfiguracji miejsca na numery pociągów bardzo rozbudowałoby pamięć. Aby tego uniknąć wprowadzono tablicę pociągów, wiążącą numer pociągu, znajdującego się w nadzorowanym rejonie, z jego aktualną lokalizacją, odpowiadającą zajętemu segmentowi odcinkowemu w liście konfiguracji. Aktualizacja tablicy pociągów stanowi istotne i złożone zadanie systemu, a dane zawarte w tej tablicy są przekazywane na tablicę świetlną i wykorzystywane w algorytmach kontroli rozkładu jazdy, generowania nastaw i sporządzania wykresu jazdy pociągów.

Rozbieżności między rzeczywistym położeniem pociągu i rozkładem jazdy są sygnalizowane i dokumentowane, a w przypadku CMK służą także do automatycznego opracowania optymalnej propozycji sterowania ruchem w zmienionej sytuacji ruchowej. Projekt systemu dla CMK uwzględniał również możliwość półautomatycznego generowania sygnałów ustawiających zwoznice (drogi przebiegu), według planu nastaw zawartego w tablicy nastaw. Propozycje komputera wymagałyby akceptacji dyspozytora.

Liczny zespół tablic edytorskich ułatwia przygotowanie danych sprawozdawczych, statystycznych i alarmowych do wyświetlania na tablicy świetlnej i monitorach ekranowych oraz do drukowania raportów i wykresów.

3. Śledzenie ruchu pociągów

Śledzenie ruchu pociągów polega na stałym powiązaniu informacji o zajętych odcinkach z informacją o numerze pociągu. Jednym z warunków dla jednoznacznej przyporządkowania zajętemu odcinkowi numeru pociągu jest

brak możliwości jednoczesnego przebywania dwóch lub więcej pociągów na jednym odcinku. Polskie przepisy ruchu kolejowego zezwalają jednak na taki przypadek na szlaku (między stacjami), wobec czego w ogólnym przypadku nie jest możliwe zlokalizowanie pociągu na szlaku z dokładnością do jednego odcinka.

W systemie dla CMK szlak traktowany jest jako jeden segment, na którym może jednocześnie przebywać dowolna liczba pociągów w ustalonej kolejności bez dokładniejszej ich lokalizacji.

W systemie dla WWK śledzenie za pociągiem na szlaku jest prowadzone z dokładnością do odcinka izolowanego dopóki nie powstanie sytuacja wieloznaczna. Wtedy system odwołuje się do pomocy dyspozytora.

Na stacjach na jeden odcinek może wjechać tylko jeden pociąg, co daje możliwość dokładnej lokalizacji pociągu. Między zjazdem jednego pociągu a wjazdem drugiego jest chwila, gdy odcinek jest wolny. Wobec tego jako kryterium wjazdu pociągu na odcinek można przyjąć fakt zajęcia odcinka, a za kryterium zjazdu fakt powstania breku zajętości odcinka.

Dla możliwości właściwego przepisania numeru pociągu z jednego odcinka na drugi bardzo istotną sprawą jest znajomość stanu (położenia) zwrotnic.

W systemie dla CMK informacje o położeniu zwrotnic dostępne były przez cały czas, co umożliwiało łatwe ustalenie aktualnych sąsiedztw między odcinkami niezależnie od zajętości, czy utwierdzenia zwrotnic. Śledzenie wówczas polega na cyklicznym przeglądaniu tablicy numerów i po stwierdzeniu, że jakiś pociąg jest przypisany do odcinka, którego aktualny stan jest "wolny", poszukiwany jest sąsiedni odcinek (swentualnie wyznaczany przez stan zwrotnic), zgodnie z kierunkiem ruchu pociągu, po czym następuje zmiana przyporządkowania.

W systemie dla WWK informacje o położeniu zwrotnic są dostępne tylko, wtedy, gdy zwrotnica jest wolna i utwierdzona. Powoduje to znaczne utrudnienie śledzenia ruchu pociągów.

Zachodzi teraz konieczność poszukiwania drogi pociągu na jeden odcinek naprzód. Już w momencie przypisania numeru pociągu do odcinka poszukiwany jest odcinek sąsiedni w kierunku ruchu pociągu. Odcinek taki będzie znaleziony tylko wtedy, gdy znane będą stany pośrednich zwrotnic (utwierdzony przebieg). Dla pociągów ze znaną dalszą drogą zmiana przyporządkowania następuje w chwili zajęcia odcinka będącego następnym dla tego pociągu.

Dla pociągów jadących po drodze nieutwierdzonej, gdy nie można wyznaczyć odcinka następnego, w ogólnym przypadku jest niemożliwe jednoznaczne śledzenie. W pewnych szczególnych wypadkach, gdy odcinek z przypisanym pociągiem zwolni się, a zostanie zajęty tylko jeden z możliwych (przy dowolnym położeniu zwrotnic) odcinków sąsiednich można automatycznie zmienić przyporządkowanie, w innych przypadkach system odwołuje się do pomocy dyspozytora.

Wybór odpowiedniego algorytmu śledzenia uwarunkowany jest w sposób bardzo istotny rodzajem informacji dostarczanej do komputera. W przypadku WWK rodzaj informacji był narzucony z góry, co dało znaczne skomplikowanie

wanie algorytmu - konieczność przeszukiwania tablicy pociągów przy każdej zmianie zajętości odcinków.

4. Współpraca systemu kontroli z dyspozytorem ruchu

Z użytkowego punktu widzenia, ważnym zagadnieniem jest sposób zobrazowania przetworzonej przez system informacji i udostępnienie jej dyspozytorowi w formie najbardziej dla niego dogodnej. W szczególności, można tu wyróżnić trzy istotnie różne zagadnienia:

- (i) graficzne przedstawienie aktualnej sytuacji w kontrolowanej sieci, umożliwiające dyspozytorowi wypracowanie optymalnych decyzji
- (ii) pośredniczenie w przekazywaniu poleceń dyspozytora, obejmujące kontrolę poprawności i kontrolę wykonania wydanych poleceń
- (iii) prowadzenie dokumentacji obejmującej czasowy harmonogram przebiegu zdarzeń i pewne zbiorcze wskaźniki charakteryzujące pracę poszczególnych elementów sieci.

Naturalnym postulatem jest przy tym dostosowanie trybu pracy systemu do ustalonych nawyków służb dyspozytorskich i do obowiązujących przepisów. Dotyczy to zwłaszcza używanych w Centrum Sterowania środków technicznych, terminologii, nazewnictwa i przygotowywanych przez system dokumentów.

Podstawowym środkiem zobrazowania sytuacji w kontrolowanym fragmencie sieci jest plan świetlny, stanowiący pewnego rodzaju makietę oddającą wszystkie istotne dla dyspozytora szczegóły aktualnego stanu sieci takie, jak: położenia pociągów, stany zwrotnic i semaforów. Informacja sterująca wyświetlaczami planu generowana jest przez program śledzący, którego zasadniczym celem jest wiązanie numerów pociągów z zajmowanymi przez nie izolowanymi odcinkami torów. Stałe przyporządkowanie odcinków torów i numerów wyświetlaczy planu zapisane jest na liście konfiguracji.

W oparciu o informacje przedstawiane na planie świetlnym dyspozytor podejmuje decyzje ustawienia odpowiednich przebiegów pociągowych. Polecenia dyspozytora wprowadzane są do systemu za pomocą specjalizowanej klawiatury cyfrowo-funkcyjnej (tastatury). Specjalny program sprawdza syntaktyczną poprawność polecenia, dokonuje wymaganej konwersji kodu i formatu i wysyła je do urządzeń wykonawczych warstwy podstawowej. Wszystkie polecenia są kolejgowane i po upływie indywidualnego dla każdego polecenia czasu, sprawdzany jest stan urządzeń podlegających zasterowaniu. Jeżeli stan ten nie jest zgodny ze stanem oczekiwanym, następuje ogłoszenie alarmu.

Dokumentacja pracy sieci kolejowej obejmuje wykres rzeczywistego biegu pociągów, rejestr poleceń wydanych przez dyspozytorów oraz dane statystyczne o pracy poszczególnych stacji. Wykres sporządzany jest na drukarce, przy czym kolejne wiersze pokazują stan sieci w kolejnych minutach czasu rzeczywistego. Zagadnienie odwzorowania istotnie nieliniowej struktury sieci (np. węzeł Warszawski) w wierszu wydruku rozwiązano przez podział sieci na umowne fragmenty zwane liniami, przedstawiane na wykresie jako ciągłe sekcje wiersza. Zarówno podział sieci na linie jak i rozmieszczenie linii w wierszu są całkowicie dowolne i mogą być w łatwy

sposób zmieniane. W razie potrzeby różne linie mogą być rejestrowane na różnych drukarkach. Rozwiązanie to zapewnia dużą elastyczność formatu wykresu, za cenę dość złożonej struktury tablic programu raportującego.

Statystyki pracy stacji, obejmujące dane o pociągach punktualnych i opóźnionych, drukowane są w układzie tabelarycznym. Dla zwiększenia przejrzystości wydruków, sporządzanie wykresu zostało wydzielone w osobny strumień wyprowadzany na specjalnie do tego celu przydzielone drukarki

5. Uwagi końcowe

Wprawdzie opisywane systemy realizują dość specyficzne zadania i nie mogą liczyć na rozpowszechnienie poza PKP, jednakże pewne doświadczenia zdobyte przez autorów w trakcie projektowania i próbnych uruchomień mogą być przekazane projektantom innych systemów i - być może - z pożytkiem wykorzystane. Dotyczy to zwłaszcza problemów współpracy komputerów MERA 300 i ODRA 1325 oraz maszyn MERA i układów PI.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Р е з ю м е

Движение поездов по изолированным отрезкам железной дороги и стрелками со сигнализацией занятости приводит к тому, что железнодорожная сеть становится сложным динамическим объектом с дискретными сигналами контроля и управления.

Системы управления такими сетями с применением электронной вычислительной машины и основные вопросы их конструирования рассматриваются в настоящей работе.

COMPUTER SYSTEMS FOR RAILROAD TRAFFIC CONTROL

С у м м а р у

Displacement of the trains in isolated parts of railway-tracks system with occupation signalisation implies the complexity of railroad not treated as dynamic system. The computer control systems for such nets and main problems connected with their construction are contained in the paper.