

Adam Bugaj¹
Andrzej Kochan²

KIEROWANIE I STEROWANIE POCIĄGÓW BEZ MASZYNISTY NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU SELTRAC

Streszczenie

Różne odmiany systemu SelTrac zastosowano w systemach szybkich tramwajów, lekkich kolejek miejskich, automatycznych kolejek lotniskowych oraz na liniach metra. Wszystkie wersje systemu SelTrac opierają się na dwukierunkowej, bezprzewodowej, bezpiecznej transmisji tor-pojazd, dlatego są zaliczane do klasy systemów cbtc (Communication Based Train Control). W ramach prac Wydziału Transportu PW nad rozwojem systemów ksr dokonano analizy tego systemu pod kątem możliwości pozyskiwania informacji dla dyspozytury. Jako podstawę do analizy wybrano linie automatycznej kolejki DLR oraz linie metra Jubilee w Londynie. W artykule przedstawiono ogólny opis systemu SelTrac oraz stanowiska dyspozytora. Omówiono niektóre aspekty kierowania ruchem pociągów w tym systemie.

Słowa kluczowe: system kierowania i sterowania ruchem kolejowym, stanowisko dyspozytora, cbtc, pociąg bez maszynisty.

1. Wstęp

SelTrac to nazwa handlowa grupy produktów firmy Thales (wcześniej Alcatel) obejmujących systemy atp ato i atc. Różne odmiany systemu SelTrac zastosowano w systemach szybkich tramwajów, lekkich kolejek miejskich, automatycznych kolejek lotniskowych oraz na liniach metra. Zwykle umożliwiono tym samym jazdę pociągów

¹ mgr inż., doktorant; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Sterowania Ruchem; tel. +48222347380; a.bugaj@it.pw.edu.pl;

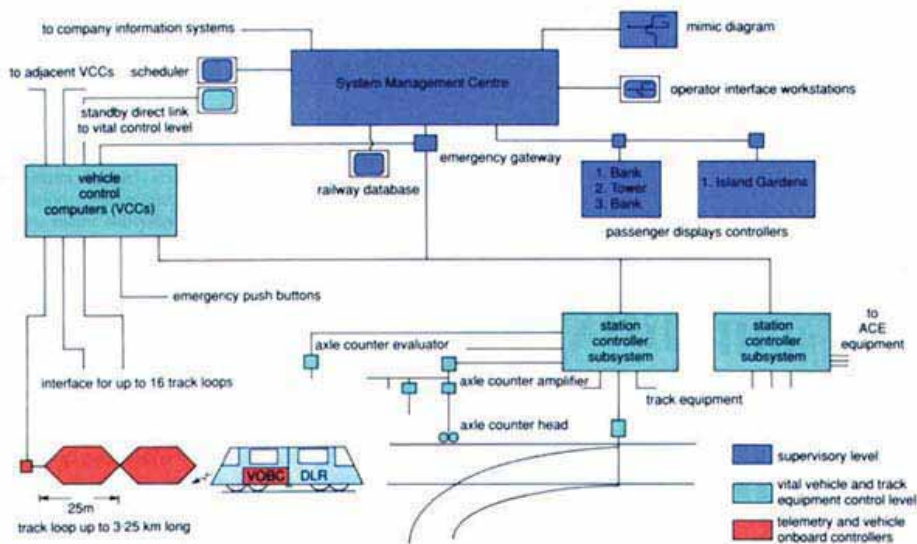
² mgr inż. Andrzej Kochan; asystent; Politechnika Warszawska; Wydział Transportu; Zakład Sterowania Ruchem, tel. +48222347380, ako@it.pw.edu.pl

bez udziału maszynistów. Wszystkie wersje systemu SelTrac opierają się na dwukierunkowej, bezprzewodowej, bezpiecznej transmisji tor- pojazd, dlatego są zaliczane do klasy systemów cbtc (Communication Based Train Control). Po raz pierwszy system SelTrac zastosowano w systemie automatycznej kolejki SkyTrain w Vancouver (1986r).

Ponad połowa linii (w transporcie miejskim) wyposażonych w systemy cbtc posiada urządzenia Seltrac [8]. W ramach prac Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej nad rozwojem systemów ksr dokonano analizy tego systemu pod kątem możliwości pozyskiwania informacji dla dyspozytury. Jako podstawę do analizy wybrano linie automatycznej kolejki DLR oraz linie metra Jubilee w Londynie. Na kolejce DLR od początku eksploatacji pociągi jeżdżą bez maszynistów.

2. Struktura (hierarchia) systemu

Strukturę systemu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura systemu SelTrac (DLR) [6]

W systemie SelTrac oddzielono warstwy związane z ksr (supervisory level - ciemniejszy odcień na rysunku) od warstwy zabezpieczenia ruchu (vital vehicle and track equipment control level - jaśniejszy od-

cień). Objaśnienia skrótów i terminów pojawiających się na rysunku znajdują się na końcu artykułu.

Operator może wydać ogólne polecenie dla przejazdu pociągu – np. aby poruszał się według określonego rozkładu jazdy. To polecenie jest przetwarzane w SMC (systemie kr). Wtedy SMC na podstawie rozkładu jazdy przekazuje do VCC polecenie przejazdu danego pociągu po określonym odcinku. VCC (jeśli zachodzi taka konieczność) steruje urządzeniami stacyjnymi SCS aby np. przestawić określone zwrotnice. VCC po przeanalizowaniu bezpiecznych informacji z SCS (np. położenia zwrotnic) oraz informacji o lokalizacji pozostałych pociągów przekazuje do pociągu polecenie jazdy z określoną prędkością do określonego punktu. SMC pobiera meldunki z VCC (min. o położeniach pociągów), które będą wykorzystane w procesie kierowania ruchem. Informacje mogą być też wykorzystane do innych celów – np. do informacji dla pasażerów (na rysunku *passanger displays controllers*).

Wszystkie powiązania SMC z pozostałymi elementami są zrealizowane za pomocą sieci LAN. Umożliwia to elastyczną rozbudowę systemu o dodatkowe funkcje (np. o analizowanie danych w celach biznesowych).

3. Transmisja tor - pojazd

W celu wymiany informacji, w zależności od rozwiązania, mogą być stosowane albo pętle transmisyjne, albo wykorzystywane są radiowe urządzenia wg. standardu sieci WLAN. Na liniach londyńskiego metra oraz na DLR zastosowano tradycyjne pętle, dlatego to rozwiązanie opisano poniżej.

W transmisji przy pomocy pętli wykorzystywane są dwie częstotliwości nośne [6]:

- 36 kKz dla kierunku tor – pojazd (uplink)
- 56 kHz dla kierunku pojazd – tor (downlink)

Zastosowano modulację FSK (częstotliwościową), a pojedyncze telegramy mają długość 40 lub 80 bitów [2]. Pojedyncze pętle mogą pokrywać do 3,2 km toru.

Rozwiązanie z pętlami transmisyjnymi jest stosowane od 25 lat. Jednak na liniach londyńskiego metra wystąpiły problemy z zakłóceniami ze strony energoelektroniki taborowej [2].

4. Wymiana informacji między pojazdem a VCC

System SelTrac zaliczany jest do systemów klasy cbtc, czyli sterowanie ruchem i poszczególnymi pojazdami oparte jest na transmisji danych.

Z pojazdu do VCC przekazywane są co najmniej następujące informacje:

- aktualna pozycja pociągu (proces lokalizacji został opisany w następnym punkcie),
- długość składu (ilość wagonów),
- stan drzwi (otwarte / zamknięte).

Natomiast w drugą stronę, do pojazdu przekazywane są następujące meldunki i polecenia:

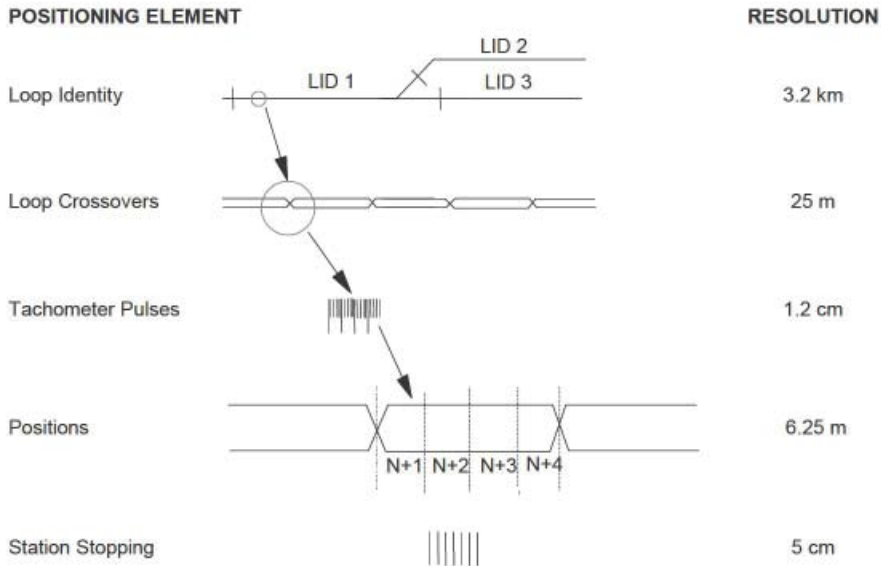
- LID – Loop Identity – ID pętli,
- LMA – Limit of Movement Authority - punkt docelowy (stopping point),
- prędkość maksymalna z jaką może się poruszać pociąg,
- CSDE – Correct Side Door Enable [2] – informacja o tym, po której stronie toru znajduje się peron; informacja też jest uzupełniona o długość peronu (na sieci DLR znajdują się przystanki o krótszych peronach – w przypadku postoju na takim przystanku nie otwierają się wszystkie drzwi),
- do pociągu musi też dotrzeć informacja o pochyleniu toru / wydłużonej drodze hamowania.

Obliczenia związane z krzywą hamowania oraz realizację hamowania i przyspieszania wykonują VOBC – bezpieczne komputery znajdujące się na pojazdach. W VCC znajduje się baza danych o sieci: zawierająca między innymi ograniczenia prędkości, pochylenia torów na podstawie której, w razie potrzeby przekazywana jest informacja o wydłużonej drodze hamowania.

5. Lokalizacja pojazdów

Można powiedzieć, że pojazdy w systemie SelTrac lokalizują się same, a potem wysyłają odpowiednią informację do VCC. Pociąg wjeżdżając w obszar pętli transmisyjnej pobiera numer tej pętli (LID). Następnie w czasie dalszej jazdy zlicza kolejne skrzyżowania (odwrócenia)

pętli, które są zlokalizowane co 25 m. Do określenia precyzyjniejszej pozycji wykorzystywany jest odometr - pozwala na zatrzymanie się przy stacji z dokładnością do 5 cm. Jednak dla celu sterowania ruchem nie jest wymagana aż tak precyzyjna informacja. VCC otrzymuje informację o lokalizacji z dokładnością do 6,25 m.

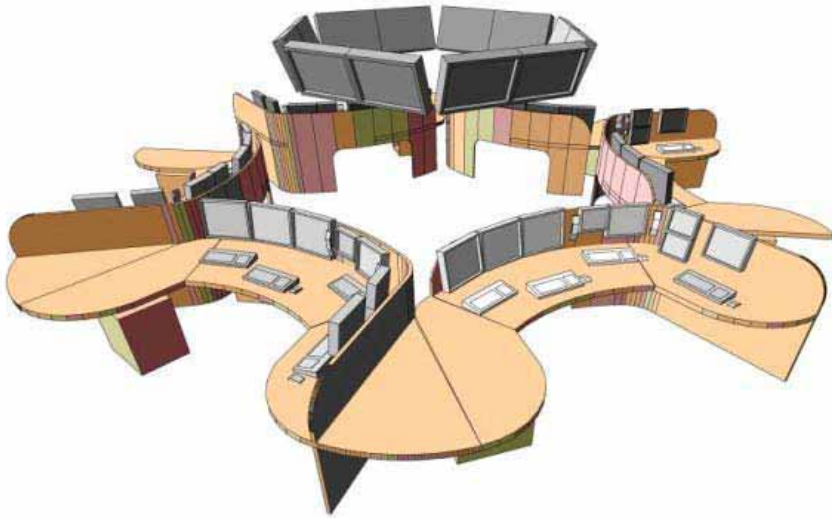


Rys. 2. Lokalizacja pojazdów przy pomocy pętli i odometru [2]

Zarówno w londyńskim metrze, jak i na kolejce DLR pozostawiono tradycyjne urządzenia kontroli niezajętości. Na kolejce DLR zastosowano liczniki osi, a na liniach metra tradycyjne obwody torowe o częstotliwości 125 Hz lub obwody FS2500 o częstotliwości od 4 do 6 kHz [2]. Informacje o niezajętości pochodzące z tradycyjnych urządzeń są potrzebne min. do obwodów nastawczych rozjazdów. Niezbędne są również na wypadek pojawienia się pojazdu niewyposażonego (np. tabor serwisowy) lub z uszkodzonymi urządzeniami SelTrac.

6. Stanowisko dyspozytorskie

Wizualizację stanowisk przewidzianych dla linii metra przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wizualizacja stanowisk dyspozytorów dla linii londyńskiego metra [2]

W skład centrum dyspozytorskiego (SMC) wchodzi następujące terminale, stanowiska (widoczne również na rys. 1):

- **operator interface workstation** - podstawowe stanowisko operatora opisane w dalszej części,
- **scheduler** - stanowisko do edycji rozkładów jazdy,
- **railway database w'stn** - stanowisko do edycji bazy danych o infrastrukturze (np. do wprowadzania ograniczeń prędkości),
- **mimic diagram** - duże zobrazowanie większego obszaru.

Na terenie centrum dyspozytorskiego znajdują się jeszcze dwa stanowiska niezależne od SMC:

- bezpośredni terminal **VCC** - służy do bezpośredniego wydawania poleceń do VCC z pominięciem SMC. Wykorzystywany w sytuacjach awarii SMC,
- **emergency gateway** - służy do przestawiania zwrotnic na stacjach, wykorzystywany w przypadku awarii VCC lub gdy znajdują się pojazdy niewyposażone w SelTrac.

Dyspozytor na podstawowym stanowisku, nazwanym **operator interface workstation**, ma przedstawiony układ torowy z aktualnymi pozycjami pociągów, wraz zajętej lub/i utwierdzonej odcinkami torów. Oprócz podstawowego zobrazowania w zależności od wersji sy-

stemu SMC mogą być dla każdego pociągu wyświetlone m.in. następujące informacje:

- stacja docelowa;
- opóźnienie (odpowiednim kolorem, gdy przekroczy określoną wartość),
- długość pociągu – ilość wagonów,
- LMA – czyli punkt, do którego wydano zezwolenie na jazdę,
- informacja o otwartych drzwiach.



Rys. 4. Przykładowy obraz na podstawowym stanowisku operatora [10]

7. Wybrane aspekty kierowania i sterowania ruchem

W normalnej eksploatacji przebiegi są ustawiane na podstawie rozkładu jazdy (automatycznie). Taki tryb pracy wg [10] jest nazywany „obiegim”. Dyżurny może w każdej chwili ingerować w ruch. Rozkład podawany podróżnym nie zawiera godzin odjazdów, ale czasy następstwa. System automatycznie kompensuje opóźnienia (i wyprzedzenia rozkładu) pociągów poprzez [10]:

- dopasowanie czasów postojów (w ramach zadanych limitów),
- zwiększenie albo zmniejszenie prędkości jazdy (z uwzględnieniem maksymalnych prędkości szlakowych).

W razie potrzeby dyspozytor może ręcznie interweniować:

- zwiększając albo skracając czasy postojów przy peronach,
- zatrzymując pociągi,
- zlecając pominięcie peronu lub zamykając perony,
- wymuszając odjazd pociągu z peronu,
- regulując czas następstwa,

Dyspozytor / dyżurny może też zlecić jazdę do konkretnego miejsca [10] – „routing trains to specific track location or station”. Dyżurny / dyspozytor wydaje wtedy polecenie, aby pociąg dojechał do konkretnego miejsca, a przebiegi są ustawiane na bieżąco w miarę

możliwości (zwalniania się odcinków). To „zlecenie” może mieć opcję zatrzymywania (bądź nie zatrzymywania) się przy peronach. Dyspozytor / dyżurny może „zlecić” jazdę wahadłową między konkretnymi stacjami. Taki tryb pracy wg [10] jest nazywany „trasą”.

Istnieje możliwość układania tradycyjnych przebiegów przez emergency gateway, lub wydawania poleceń bezpośrednio przez VCC.

Podsumowując, dyspozytor ma następujące możliwości kierowania i sterowania ruchem pociągów:

- 1) jazda z rozkładu (automatycznie),
- 2) zlecenie jazdy do konkretnego miejsca,
- 3) zlecenie jazdy wahadłowej,
- 4) ręcznie (poza SMC) przez VCC – dla pociągów bez maszynisty,
- 5) ręcznie (poza SMC) przez Emergency Gateway – tylko dla pojazdów sterowanych ręcznie.

Producent deklaruje możliwość automatyzacji także stacji postojowych, oferując następujące funkcje [10]:

- opcja automatycznej obsługi torów postojowych,
- automatyczne ustawianie składów z uwzględnieniem 3 m odstępu,
- automatyczne łączenie / rozłączanie wagonów,
- automatyczne nagrzewanie i włączanie pociągów przez SMC,
- automatyczne kierowanie na tory postojowe pociągów wyłączonych z ruchu,
- automatyczne mycie pociągów,
- automatyzacja lekkich napraw.

8. Podsumowanie

Na sieci DLR występują odcinki jednotorowe oraz trasy wielu linii mają wspólne odcinki. Wydawałoby się, że są to czynniki powodujące duże zaburzenia ruchu w przypadku opóźnień dowolnego pociągu. Jednak problem podejmowania decyzji w sytuacji tzw. „konfliktów” (np. ustalenia, który z pociągów ma wjechać na odcinek jednotorowy) jest znikomy. Mają na to wpływ następujące czynniki:

- Wysoka punktualność pociągów. Instytucja Transport of London zwraca koszt biletów, gdy opóźnienie przekroczy 15 min (dla porównania dla kolejki naziemnej bilety są zwracane, gdy opóź-

nienie przekroczy 30 min). Dla posiadaczy kart Oyster (odpowiednik np. karty miejskiej) procedura zwrotu biletu ogranicza się do wypełnienia formularza na stronie internetowej.

- Wysoka niezawodność urządzeń.
- Wydzielona sieć. Minimalna ilość zaburzeń spoza systemu kolejki, które miałyby wpływ na ruch pociągów.
- Na kolejce DLR najdłuższe odcinki jednotorowe występują na odgałęzieniu do Stratford. Jednak, gdy się porówna rozkład jazdy [11] ze schematem układu torowego [12], można zauważyć, że dla pociągów z tego odgałęzienia ułożono trasy w taki sposób, aby ewentualne opóźnienia nie przenosiły się na pozostałe pociągi i na odwrót. Na przykład przejazd przez stację Poplar odbywa się bezkolizyjnie względem pozostałych połączeń.

Koszty eksploatacji kolejki wyposażonej w system automatycznego prowadzenia pociągów będą niższe z powodu znacznego ograniczenia ilości personelu (maszynistów). Jednak zabudowa takiego systemu nie pozwala na zlikwidowanie tradycyjnych urządzeń sterowania ruchem. Dla bezpiecznego i elastycznego funkcjonowania systemu, zarówno na liniach metra oraz na kolejce DLR są zabudowane (a na linii metra pozostawione) zdalnie sterowane urządzenia srk, z tradycyjnymi urządzeniami kontroli niezajętości.

Stosowane oznaczenia i skróty

- DLR - Docklands Light Railway – lekka kolejka w dzielnicy Londynu;
- LU – London Underground;
- SMC – System Managment Centre – centrum kr (kierowania ruchem);
- VCC – Vehicle Control Centre (Computer) – Bezpieczne komputery i urządzenia obsługujące pętle transmisyjne, zależności ruchomego odstępu blokowego; generujący pozwolenia na jazdę do pojazdów. Współpracuje z tradycyjnymi urządzeniami zależnościami;
- VOBC – Vehicle On Board Control (Computer) (Vital Telemetry and Vehicle On-Board Controllers) – Bezpieczne komputery i

- urządzenia w pociągach. Całe sterowanie pojazdem, obsługa komunikacji z pętlami transmisyjnymi;
- SCS – station controller subsystem – urządzenia zależnościowe stacyjne
- SRS – serwer min. do komunikacji SMC – VCC
- W'stn – (na rysunkach) Workstatin - stanowisko
- LID – Loop Identity – numer identyfikacyjny pętli;
- LMA – Limit of Movement Authority – punkt do którego wydano zezwolenie na jazdę;
- PDIU – Platform Door Interface Unit – Interfejs do sterowania drzwiami na peronach.

Bibliografia

- [1] Balant P., Borup M., Ogunsola A. : *Achieving TBTC - 95 Tube Stock System Compatibility*. EMC in Railways, 2006. s 61 – 69; The Institution of Engineering and Technology Seminar on; 2006.
- [2] Clark George, Godfrey Tom: *Resignalling London's Jubilee*. Northern and Piccadilly Lines; Draft for talk in singapore on 11th january 2007.
- [3] Fradgley R.: *WLAN takes the lead in radio-based signalling: demand for radio-based signalling systems is growing, but is GSM-R really better than alternatives? Alcatel thinks wireless internet is a better solution. (Signalling/Train Control)*. International Railway Journal 3/1/2006.
- [4] Gawroński J.: *Nowoczesne metro atrakcyjnym środkiem transportu miejskiego*. Infrastruktura Transportu 2/2008 s 58-60.
- [5] Lockyear M. J.: *The application of transmissin based moving block automatic train control system on Docklands Light Railway*. International Conference on Developments in Mass Transit Systems, 20-23 April 1998, Conference Publication No. 543 s 51-61, IEE.
- [6] Lockyear M. J.: *Changing track moving-block railway signaling*. IEE Review January 1996, s 21-25.

- [7] Rudderham W.: *Longitudinal control system of the intermediate capacity transit system*. Vehicular Technology Conference, 1983. 33rd, s 183 – 190; IEEE; 1983.
- [8] Szmel D.: *Bezprzewodowa transmisja w systemie metra CBTC*. Technika i sterowanie ruchem 4/2009 s 20-21
- [9] Strona pasjonata DLR <http://dodger.home.xs4all.nl/index1.htm>
- [10] Materiały reklamowe firmy Thales (Alcatel)
- [11] Rozkłady jazdy na <http://www.tfl.gov.uk/gettingaround/4523.aspx>
- [12] Układ torów <http://carto.metro.free.fr/metro-london/>

RAILWAY TRAFFIC OPERATION MANAGEMENT AND CONTROL FOR DRIVERLESS TRAINS BASED ON THE EXAMPLE OF SELTRAC SYSTEM

Summary

The various types of SelTrac system have been applied in fast tramway systems, light rail systems, automated rail transit systems and undergrounds. All versions of SelTrac system are based on bidirectional, wireless, safe track-vehicle transmission, so they are numbered as cbts (Communication Based Train Control).class of systems.

In frame works under krs systems development run by the Transport Department of PW the analysis of the system towards its ability to collect data for train dispatchers have been carried out. As the basis of analysis the automated rail transit lines DLR and Jubilee underground lines in London have been selected.

The general description of SelTrac system and the train dispatcher workstation have been presented in the paper. Some aspects of train management in this system have been described.

Keywords: *system of the railway traffic supervisory and control, train dispatcher workstation, communication based train control, driverless train.*