

LEWIŃSKI Andrzej¹
 PERZYŃSKI Tomasz²
 TORUŃ Andrzej³

Modelowanie funkcjonalności i bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym wyposażony w zmienny odstęp blokowy

bezpieczeństwo systemów srk,
 analiza bezpieczeństwa,
 modele systemów srk,

Streszczenie

W pracy przedstawiono modele pozwalające analizować funkcjonalność oraz bezpieczeństwo systemów prowadzenia ruchu pociągów w oparciu bezwzględny Ruchomy Odstęp Blokowy. Modele te zostały opracowane na bazie procesów Markowa opisujących tego typu zdarzenia i pozwalają na oszacowanie odpowiednich współczynników charakteryzujących tego typu systemy. Mogą być też podstawą badań symulacyjnych w celu weryfikacji przyjętych założeń.

THE MODELING THE EFFICIENCY AND SAFETY OF RAILWAY CONTROL SYSTEMS WITH CHANGEABLE BLOCK DISTANCE

Abstract

The paper deals with models elaborated to analyze the functionality and safety of direct changeable block distance ROB_B. These models are related to Markov processes describing the random events and allow to estimate appropriate coefficients to characterize such control systems and to verify the assumptions using simulation methods.

1. WSTĘP

W pracach [1], [2] i [3] przedstawiono zasadę ruchomego odstępu blokowego (ROB) w sterowaniu następstwem pociągu. Przedstawiono również scenariusze operacyjne dotyczące związane z reakcją Centrum Sterowania na zdarzenia wynikające bądź z typowych zdarzeń związanych z prowadzeniem ruchu na szlaku (np. wjazd pociągu nie wyposażonego w radiowy system lokalizacji RSW), czy też z typowych sytuacji awaryjnych (np. zanik transmisji z pociągu wyposażonego w system RSW).

Do modelowania zdarzeń występujących na szlaku zaproponowano opis w postaci procesów Markowa (jednorodnych, stacjonarnych i ergodycznych), co związane jest z przyjęciem rozkładu Poissona do modelowania zdarzeń oraz rozkładu wykładniczego do modelowania czasu ich wystąpienia [4], [6].

2. MODELE SYSTEMU PROWADZENIA RUCHU WYKORZYSTUJĄCE RUCHOMY ODSTĘP BLOKOWY

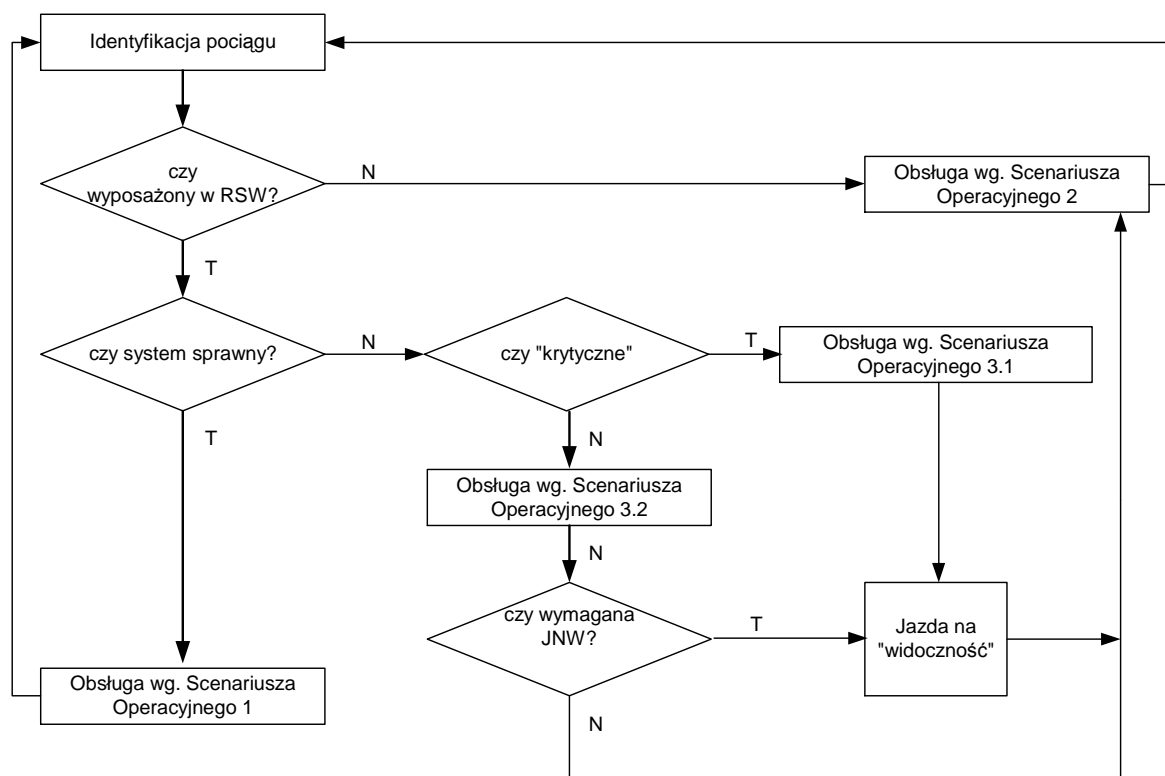
Niezależnie od przyjętego do rozważań potoku ruchu (jednorodny, mieszany) scenariusze operacyjne opisują procedurę obsługi w odniesieniu do pojedynczego pociągu. Ogólny algorytm obsługi pociągu w zależności od wyposażenia lub nie w RSW oraz wzajemnego powiązania ze sobą scenariuszy operacyjnych przedstawia rys.1

Scenariusz Operacyjny 1 dotyczy obsługi pociągu wyposażonego w RSW, Scenariusz Operacyjny 2 to obsługa pociągu nie wyposażonego w RSW, zaś scenariusz operacyjny 3 dotyczy prowadzenie ruchu przy uszkodzonym RSW w którym założono dwa warianty możliwej obsługi pociągu po zatrzymaniu: wariant 3.1 wymagający przejściowego stanu obsługowego (jazda na „widoczność” do najbliższego sygnalizatora) oraz wariant 3.2 nie wymagający takiej obsługi.

¹ Politechnika Radomska Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29
 Tel. +48 48 361-77-57, Fax: +48 48 361-77-42, E-mail: a.lewinski@pr.radom.pl

² Politechnika Radomska Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29
 Tel. +48 48 361-77-57, Fax: +48 48 361-77-42, E-mail: t.perzynski@pr.radom.pl

³ Instytut Kolenictwa; 04-275 Warszawa; ul. Chłopińskiego 50. Tel. +482247-31-490, Fax: +482247-31-036, e-mail: atorun@ikolej.pl



Rys. 1 Powiązanie scenariuszy operacyjnych w proponowanej metodzie lokalizacji pociągów.

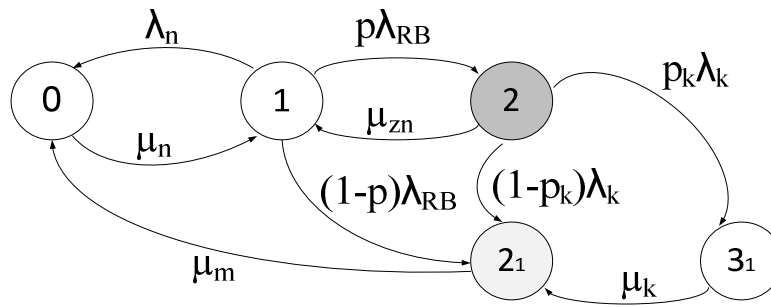
Jak zostało przedstawione na i opisane w poszczególnych Scenariuszach Operacyjnych takie zasady prowadzenia ruchu (regulacji następstwa) pociągów wykorzystujące własności zaproponowanej metody lokalizacji (SO1) oraz dopuszczające możliwość nadzoru nad przemieszczaniem się pociągów „niewyposażonych” zgodnie z istniejącymi zasadami (SO2) zarówno w stanie poprawnego działania systemu jak i w stanach przewidywanych uszkodzeń wyczerpują przypadki testowe dla potrzeb symulacji i stanowią podstawę do dokonania oceny (na podstawie uzyskanych wyników badań) wpływu zaproponowanej w pracy metody lokalizacji pociągów na funkcjonalność i bezpieczeństwo systemu regulacji następstwem pociągów w procesie sterowania ruchem kolejowym. Istotnym założeniem związanym z bezpieczeństwem ruchu kolejowego w proponowanej metodzie jest powiązanie scenariuszy prowadzenia ruchu kolejowego w warunkach uszkodzenia komponentów systemu oraz w przypadku pojawiania się w nadzorowanym obszarze pociągów wyposażony i niewyposażony w system pozwalający na prowadzenie ruchu zgodnie z zasadą ROB.

2.1 Modelowanie funkcjonalności systemów wykorzystujących ruchomy odstęp blokowy

Na rys. 2 przedstawiono model opisujący działanie systemu prowadzenia pociągów na szlaku wyposażonego w odpowiednią infrastrukturę ruchomego odstępu blokowego.

W modelu tym wyróżniono następujące stany:

- 0 – oczekiwanie na obsługę (kolejka pociągów na wejściu systemu),
- 1 – decyzja o rodzaju obsługi,
- 2 – obsługa zgodna z ROB,
- 21 – obsługa ze stałym odstępem (bez ROB),
- 31 – awaryjna jazda pociągu na szlaku (jazda na „widoczność” do najbliższego sygnalizatora),



Rys. 2 Model funkcjonalny systemu prowadzenia pociągu wykorzystujący ROB.

oraz przejścia pomiędzy tymi stanami:

- λ_n – intensywność zgłoszeń pociągów na wejściu systemu prowadzenia ruchu,
- μ_n – odwrotność czasu przejścia do obsługi,
- λ_{RB} – intensywność przejścia do obsługi w systemie sterowania
- μ_{zn} – odwrotność czasu obsługi zgodnie z ROB,
- μ_m – odwrotność czasu obsługi bez ROB,
- λ_k – intensywność zakłóceń systemu RSW,
- μ_k – odwrotność czasu powrotu do sterowania ze stałym odstępem blokowym (bez ROB, czyli po dojechaniu do najbliższego sygnalizatora).

Wprowadzone prawdopodobieństwa uwzględniają ruch mieszany:

- p – prawdopodobieństwo wyposażenia w RSW (np. w % całego taboru w ciągu dnia)
- p_k – prawdopodobieństwo trwałego uszkodzenia RSW.

Dla potrzeb analizy istotne są prawdopodobieństwa przebywania w dwu stanach 2 i 21. Są to wartości graniczne wyznaczone zgodnie z zależnością: $P_i = P_i(t) \mid t \rightarrow \infty$.

$$P_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} P_2(t) = \frac{p\lambda_{RB}}{2[\lambda_n(\lambda_k + \mu_{zn}) + \lambda_{RB}(\mu_{zn} - p\mu_{zn} + \lambda_k)]} \quad (1)$$

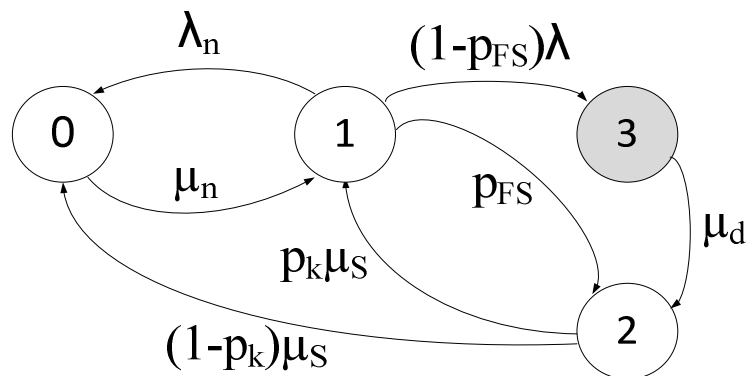
$$P_{21} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{21}(t) = \frac{\lambda_{RB}(1-p) + \lambda_{RB}\lambda_k}{2\mu_m[\lambda_n(\lambda_k + \mu_{zn}) + \lambda_{RB}(\mu_{zn} - p\mu_{zn} + \lambda_k)]} \quad (2)$$

Otrzymane zależności są złożone i wymagają oszacowania na podstawie danych z rzeczywistego obiektu wszystkich występujących przejść i prawdopodobieństw.

2.2 Modelowanie bezpieczeństwa systemów wykorzystujących ruchomy odstęp blokowy

2.3

Bezpieczeństwo systemów sterowania ruchem zostało przeanalizowane w pracach [4], [5]. Na tej podstawie przedstawiono zmodyfikowany model bezpiecznego systemu z ROB (rys. 2).



Rys. 3 Model bezpiecznego systemu sterowania ruchem pociągu wykorzystujący ROB.

W modelu tym wyróżniono następujące stany:

- 0 – stan oczekiwania na obsługę przez system srk (Centrum Sterowania),
 - 1 – stan poprawnej pracy/obsługi przez system srk
 - 2 – stan uszkodzenia kontrolowanego (monitorowany przez Centrum Sterowania)
 - 3 – stan uszkodzenia krytycznego (niemonitorowany przez Centrum Sterowania)
- oraz przejścia pomiędzy tymi stanami:

λ_n – intensywność zgłoszeń pociągów na wejściu systemu prowadzenia ruchu,

μ_n – odwrotność czasu przejścia do obsługi,

λ – intensywność uszkodzeń w systemie srk

μ_s – odwrotność czasu powrotu ze stanu uszkodzeń kontrolowanych

μ_d – odwrotność czasu powrotu ze stanu uszkodzeń krytycznych

oraz prawdopodobieństwa:

p_{FS} – określające współczynnik bezpieczeństwa $p_{FS} = \lambda_s / \lambda_s = \lambda_s / (\lambda_s + \lambda_d)$, czyli jaką część wszystkich błędów stanowią błędy kontrolowane (bezpieczne dla systemu),

p_k – określające (np w %) możliwość powrotu do systemu srk (a nie przejście do stanu oczekiwania na obsługę).

W tym przypadku istotne dla oceny bezpieczeństwa jest graniczne prawdopodobieństwo występowania w stanie 3 (uszkodzeń krytycznych). jest ono równe:

$$P_3 = \frac{\lambda \mu_n \mu_s (1 - p_{FS})}{\mu_d ((\lambda_k + \mu_k) \mu_s + p_{FS} (\mu_k + \mu_s - p_k \mu_s)) + \lambda (1 - p_{FS}) ((1 - p_k) \mu_s \mu_d + \mu_k (\mu_s \mu_z))} \quad (3)$$

Istotną różnicą w stosunku do istniejących systemów srk jest wprowadzenie prawdopodobieństwa p_k , co wiąże się z możliwością jazdy do najbliższego semafora wg scenariusza 3.1 (co oznacza wyjście spod kontroli systemu srk). Gdy założymy $p_k = 1$, oraz wyeliminujemy stan 0 (wystarczy przyjąć zerowe wartości λ_n i μ_n) to powyższy wzór sprowadza się do znanego wzoru na bezpieczeństwo systemu srk [5]:

$$P_3 = \lim_{t \rightarrow \infty} P_3(t) = \frac{\mu_s \lambda (1 - p_{FS})}{\mu_s \mu_d + \lambda (\mu_d + \mu_s (1 - p_{FS}))} \approx \frac{\lambda (1 - p_{FS})}{\mu_d} \Big|_{\mu \gg \lambda} \quad (4)$$

(przy założeniu $p_{FS} \approx 1$, $\mu_s \approx \mu_d = \mu$ oraz $\lambda \ll \mu$).

3. WNIOSKI

Wszystkie podane parametry w obu modelach, zarówno modelu opracowanego dla potrzeb analizy funkcjonalności jak i modelu opracowanego pod kątem analizy bezpieczeństwa wymagają oszacowania na podstawie typowych danych uzyskanych z rzeczywistego obiektu. Do badań zostanie przyjęta linia CMK ze względu na występowanie w różnych porach doby ruchu mieszanego (o odmiennej charakterystyce), stosunkowo długich odcinkach izolowanych (co w praktyce pozwala prowadzić do trzech pociągów wyposażonych w RSW) oraz duże prędkości (w przyszłości do 250 km/h). Modele pozwalają na analityczne określenie odpowiednich parametrów (prawdopodobieństw i czasu przebywania w wybranych stanach) oraz na przeprowadzenie badań symulacyjnych weryfikujących przyjęte założenia.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lewiński A., Toruń A.: „Funkcjonalność i bezpieczeństwo w systemach srk wykorzystujących zmienny odstęp blokowy”, Materiały konferencji LOGITRANS 2012, Politechnika Radomska 2012
- [2] Lewiński A., Toruń A.: „Informacja przestrzenna w procesie sterowania ruchem kolejowym”, Materiały konferencji LOGITRANS 2010, Politechnika Radomska 2010, Logistyka 2/2010 (płyta CD)
- [3] Lewiński A., Toruń A.: „The Changeable Block Distance System Analysis”. Communications in Computer and Information Science (104), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
- [4] Perzyński T.: „Problemy bezpieczeństwa sieci komputerowych stosowanych w sterowaniu ruchem kolejowym”. Rozprawa doktorska, Wydział Transportu i Elektrotechniki Politechniki Radomskiej, Radom 2009 r.
- [5] Lewiński A.: „The the safety of decentralised computer systems for railway transport management and control”, Archiwum Transportu PAN, Nr 3, 2003, Vol.13,
- [6] Tannenbaum Andrew S.: „Sieci komputerowe”. Wyd. WNT, Warszawa 2005