

Grzegorz SIERPIŃSKI

OBSŁUGA POJAZDÓW NA SKRZYŻOWANIACH Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA

Streszczenie. W artykule omówiono zależności zachodzące między poszczególnymi relacjami na skrzyżowaniach. Zdefiniowano obsługę pojazdów na wlotach, jak również na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną potraktowanym jako system masowej obsługi.

SERVICE OF VEHICLES ON INTERSECTIONS WITH TRAFFIC LIGHTS

Summary. The article includes a review of the relationship between vehicles passing the junctions. Service of vehicles on inlet and also service on intersections with traffic lights as queueing system was defined.

1. WPROWADZENIE

Skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, podobnie jak znaki STOP, „ustęp pierwszeństwa”, przejścia dla pieszych itp., stanowią stałe elementy infrastruktury drogowej wywołujące czasowe przerwy w strumieniu ruchu, niezależne od warunków ruchu. W takich przypadkach charakterystyki potoku ruchu, zwanego „potokiem wstrzymywanym”, zależą nie tylko od wzajemnego oddziaływania między sąsiednimi pojazdami w potoku czy geometrii drogi, ale również od przyczyn zewnętrznych (np. czerwone światło).

Okresowo na poszczególnych wlotach skrzyżowań tworzą się kolejki pojazdów. Sprawna obsługa pojazdów uzależniona jest głównie od organizacji ruchu na skrzyżowaniu.

Sygnalizacja świetlna powinna być tak zaprojektowana, aby minimalizować opóźnienia na wlotach. Stosowane są różne techniki projektowania sygnalizacji. Do bardziej znanych i zaawansowanych technicznie należy system LHOVRA. Nazwa stanowi skrót od poszczególnych składników systemu:

- L – priorytet dla autobusów i pojazdów ciężkich;
- H – priorytet na drodze głównej;
- O – redukcja wypadków;
- V – zmienne światło zielone/żółte (minimalizacja czasu opóźnienia dla kierowców - funkcja niedozwolona w Polsce);
- R – redukcja pogwałcenia światła czerwonego;
- A – cykl zielone-żółte-czerwone-zielone (redukcja pełnych cykli – funkcja niedozwolona w Polsce) [16].

2. DEFINICJA OBSŁUGI

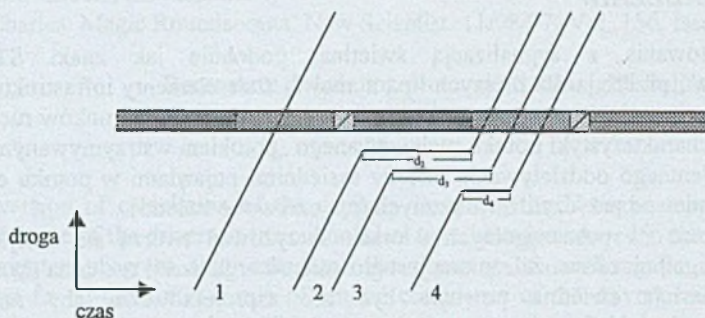
W teorii kolejek przez obsługę rozumie się spełnienie określonej potrzeby (w zależności od klienta) [5, 6, 15]. Środki umożliwiające obsługę zwykle się nazywają stanowiskami bądź kanałami obsługi.

Zasadniczo definiując system masowej obsługi należy scharakteryzować trzy wielkości: strumień zgłoszeń, sposób obsługi oraz liczbę kanałów obsługi.

Obsługę przez dany odcinek drogi można określić jako przejazd pojazdu przez ten odcinek [2, 12]. Dokładna definicja obsługi zależy od przyjętego systemu masowej obsługi. Poniżej zaprezentowano dwa podejścia do obsługi na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną.

2.1. Obsługa na wlocie

Jeżeli jako system masowej obsługi potraktować konkretny wlot, wtedy czas obsługi to różnica między chwilą przekroczenia linii zatrzymania (wjazdem na skrzyżowanie) a zgłoszeniem na wlocie. Zatem jest to czas pozostawiania pojazdu na wlocie. Taka definicja pozwala potraktować obsługę jako opóźnienie pojazdu. Na rysunku 1 przedstawiono proces zgłoszeń i oczekiwanie na wjazd na skrzyżowanie. Pojazd 1 zgłosił się na wlocie podczas wyświetlania sygnału zielonego i bezzwłocznie wjechał na skrzyżowanie. Zgłoszenia pojazdów 2 i 3 nastąpiły w chwili wyświetlania sygnału czerwonego, zatem muszą oczekiwać na zmianę sygnału. Pojazd 4 mimo zgłoszenia podczas sygnału zielonego musiał się zatrzymać, ponieważ na wlocie utworzona była kolejka. Czasy d_2 , d_3 i d_4 to – w tym przypadku – czasy obsługi poszczególnych pojazdów przez wlot (czas obsługi pojazdu 1 $d_1=0$).

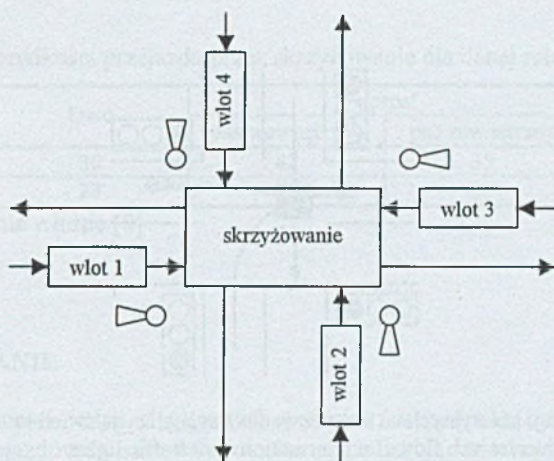


Rys. 1. Ilustracja opóźnienia pojazdów podczas oczekiwania na wjazd na skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną

Fig. 1. Illustration of delay of vehicles during waiting on entry to intersection with traffic lights

2.2. Obsługa na skrzyżowaniu

Skrzyżowanie stanowi bardzo złożony system obsługi, charakteryzujący się występowaniem wielu skomplikowanych zależności. Obsługa w tym przypadku to przejazd pojazdu – od chwili przekroczenia linii zatrzymania do chwili opuszczenia skrzyżowania przez pojazd. Na wlotach zgłaszają się strumienie wejściowe i oczekują w kolejkach na możliwość przejazdu. Rysunek 2 przedstawia w uproszczeniu skrzyżowanie jako kanał obsługi pojazdów zgłaszających się na wlotach.



Rys. 2. Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną jako system kolejkowy

Fig. 2. Intersection with traffic lights as queueing system

3. OBSŁUGA A OPÓŹNIENIE

Przyjmując definicję obsługi podaną w punkcie 2.2 należy zauważyć, iż czas obsługi będzie zależny od wielu czynników, przede wszystkim od organizacji ruchu na skrzyżowaniu. Generalnie czas obsługi wynosi:

$$t_o = t_{pb} + d_k, \quad (1)$$

gdzie:

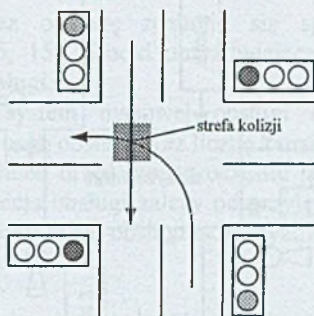
- t_o - czas obsługi pojazdu;
- t_{pb} - czas przejazdu bezkolizyjnego;
- d_k - opóźnienie „kolizyjne”.

Czas przejazdu bezkolizyjnego zależy m. in. od:

- rodzaju pojazdu;
- stanu technicznego pojazdu;
- umiejętności i zachowania kierowcy;
- geometrii skrzyżowania itd.

Opóźnienie „kolizyjne” to dodatkowy czas tracony na oczekiwanie na powstanie odpowiedniej luki w potoku nadrzędnym (w przypadku gdy taki występuje). Taka sytuacja pojawia się, gdy w jednej fazie zezwolenie na przejazd otrzymują relacje kolizyjne (przykład przedstawiono na rys. 3). Chodzi tutaj głównie o pojazdy skręcające w lewo. Dokładniej charakterystykę opóźnień „kolizyjnych” przedstawił autor w [9]. Czas przejazdu bezkolizyjnego a tym bardziej opóźnienie „kolizyjne” są zmiennymi losowymi. Dlatego chcąc dobrze zamodelować skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną należy uwzględnić szereg czynników wpływających na te czasy. Pomocne w takich przypadkach staje się wykonywanie pomiarów i obserwacji na istniejących obiektach w celu stworzenia odpowiednich charakterystyk probabilistycznych.

Zależność realizacji przejazdu pojazdów od relacji kierunkowej zestawiono w tabl. 1.



Rys. 3. Przykład relacji kolizyjnych na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną
Fig. 3. Example of interference flows on intersection with traffic lights

Tablica 1

Elementy realizacji przejazdu pojazdu przez skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną
w zależności od relacji kierunkowej

Pojazd skręcający w lewo	Pojazd jadący na wprost	Pojazd skręcający w prawo	
- oczekiwanie w kolejce na wlocie; - oczekiwanie na wyświetlenie sygnału zielonego zezwalającego na wjazd; - wjazd na skrzyżowanie; - oczekiwanie na powstanie odpowiedniej luki w potoku nadrzędnym (w przypadku gdy taki występuje); - przejazd przez skrzyżowanie	- oczekiwanie w kolejce na wlocie; - oczekiwanie na wyświetlenie sygnału zielonego zezwalającego na wjazd; - wjazd i przejazd przez skrzyżowanie	- oczekiwanie w kolejce na wlocie; - oczekiwanie na wyświetlenie sygnału zielonego zezwalającego na wjazd; - wjazd i przejazd przez skrzyżowanie	w przypadku występowania zezwolenia warunkowego („zielonej strzałki”): - oczekiwanie w kolejce na wlocie; - oczekiwanie na wyświetlenie „zielonej strzałki” - oczekiwanie na powstanie odpowiedniej luki w potoku nadrzędnym (w przypadku gdy taki występuje); - wjazd i przejazd przez skrzyżowanie

Zródło: Opracowanie własne

Sprawną obsługę zależy także od prędkości osiąganych przez pojazdy. Kierujący pojazdem powinien dostosować prędkość do warunków drogowo-ruchowych panujących w danym momencie na skrzyżowaniu. Badania wykonane w Katowicach [8] wykazały, zbieżność do danych australijskich. Zestawienie prędkości w zależności od relacji zawiera tabl. 2.

Tablica 2

Średnie prędkości przejazdu przez skrzyżowanie dla danej relacji [km/h]

Przejazd \ Relacja	lewo	wprost		prawo
		pas wewnętrzny	pas zewnętrzny	
swobodny	30	42	35	25
„ze startu”	23	29	25	20

Źródło: Opracowanie własne [8]

4. PODSUMOWANIE

Obsługa stanowi jeden z głównych parametrów podczas opisu modelu w teorii kolejek. Obsługa pojazdów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną jest skomplikowanym mechanizmem. Jedynie dokładne poznanie wszystkich elementów obsługi oraz ich probabilistycznych charakterystyk pozwala zbudować model ruchu mogący dostarczać danych zbliżonych do empirycznych.

Rozkład czasów przejazdu (obsługi) na wprost, bezkolizyjny w lewo i w prawo podczas wyświetlania sygnału zielonego zwykle się traktować jako rozkład równomierny. W innych przypadkach (skręt w lewo z kolizją lub warunkowy skręt w prawo) czynnik losowy przeważa nad deterministycznym.

Potraktowanie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną jako systemu masowej obsługi ułatwia stworzenie opisu matematycznego rzeczywistego systemu.

Literatura

1. Akçelik R.: HCM 2000 Back of Queue Model for Signalised Intersections. Technical Note, September 2001.
2. Daganzo C. F. Fundamentals of Transportation and Traffic Operations. Elsevier Science 1997.
3. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. WKiŁ, Warszawa 1999.
4. Gartner N., Messer C. J., Rathi A. K.: Traffic Flow Theory A State-of-the-Art Report. Transportation Research Board, <http://www.cta.ornl.gov/cta/research/trb/tft.html>
5. Filipowicz B.: Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych. Analiza i synteza systemów obsługi i sieci kolejkowych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
6. Kleinrock L.: Queueing Systems. Volume I: Theory. A Wiley-Interscience Publication. Canada 1975.
7. Kuwahara M., Horiguchi R., Yoshii T.: Standard Verification Proces for Traffic Flow Simulation Model, Traffic Simulation Committee, Japan Society of Traffic Engineers, 2002.
8. Sierpiński G.: Średnia prędkość pojazdów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z 52, s. 425 – 432, Gliwice 2004.
9. Sierpiński G.: Opóźnienie „kolizyjne” na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną – pojazdy skręcające w lewo (w druku).
10. Tracz M., Allsop R. E.: Skrzyżowania z sygnalizacją świetlną WKiŁ, Warszawa 1990.
11. Traffic Guidance Systems 2002-2003. Telecommunications & Traffic-Control Systems, <http://www.tvs.et.tudelft.nl/P&N/education/et4-024/Sheets/>

12. Vandaele N., Woensel T. V., Verbruggen A.: A Queueing Based Traffic Flow Model. Transportation Research – D: Transport and Environment, January 2000, vol. 5, nr 2, pp 121-135
13. Webster F. V.: Traffic signal settings. Road Research Paper No. 39, Her Majesty's Stationary Office, London 1958.
14. Webster F. V., Cobbe B. M.: Traffic Signals. Road Research Paper No. 56, Her Majesty's Stationary Office, London 1966.
15. Woch J.: Teoria potoków ruchu (w druku).
16. Zakład Inżynierii Ruchu. <http://www.zir.com.pl>.

Recenzent: dr hab. inż. Romuald Szopa, prof. Politechniki Częstochowskiej

Abstract

Service is a one of general parameter to describe models in queueing theory. Service of vehicles on intersections with traffic lights is a very complex mechanism. Only precise recognizing of all elements of service and their probabilistic profiles permits to build good traffic model.

Service without interference (during a green light) have a uniform distribution. Random factor prevails deterministic in other cases (left turn with interference or conditional right turn).

Use a queueing theory to describe intersection with traffic lights simplify creation of mathematical description of real system.

Praca wykonana w ramach badań własnych BW 445/RT5/2004.