ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 48 Nr kol. 1604

Grzegorz SIERPIŃSKI[1]

ZASTOSOWANIE METOD STOCHASTYCZNYCH W MODELOWANIU POTOKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIACH Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNĄ

Streszczenie. W artykule omówiono rozkłady opisujące strumień zgłoszeń pojazdów na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną. Dokonano równocześnie weryfikacji generatora liczb pseudolosowych, losującego odstępy między zgłoszeniami pojazdów.

APPLICATION OF STOCHASTIC METHODS TO THE TRAFFIC FLOW MODELLING ON INTERSECTIONS WITH TRAFFIC LIGHTS

Summary. The article deals with distribution of the flow of vehicles on the intersection with traffic lights. The generator of pseudo-random numbers drawing the time distances between vehicles has been also verified.

1. WSTĘP

Modelowanie, jak podaje encyklopedia [6], to przybliżone odtwarzanie najważniejszych własności oryginału. Podstawowym celem modelowania jest uproszczenie złożonej rzeczywistości, pozwalające na poddanie jej procesowi badawczemu.

Aby stworzyć model potoku ruchu, należy określić, jakie postawić mu wymagania oraz jakie procesy rzeczywistego systemu ma odzwierciedlać. Przed rozpoczęciem eksperymentu trzeba dokładnie określić dążenia projektanta i od nich uzależnić stopień uproszczenia rzeczywistego systemu w modelu. W ten sposób tworzona jest lista elementów istotnych z punktu widzenia realizowanego celu symulacji. Symulacja komputerowa pozwala na wszechstronne analizy i szybkie otrzymywanie wyników, których empiryczne uzyskanie byłoby kłopotliwe, a czasem wręcz niemożliwe.

W przypadku ruchu pojazdów jedynym odpowiednim modelem jest model stochastyczny. W tego typu modelach najważniejszy jest mechanizm generujący ciągi zdarzeń i atrybuty je opisujące. Dlatego jednym z podstawowych zadań projektanta modelu symulacyjnego jest stworzenie odpowiedniego generatora liczb pseudolosowych o zadanych rozkładach prawdopodobieństwa.

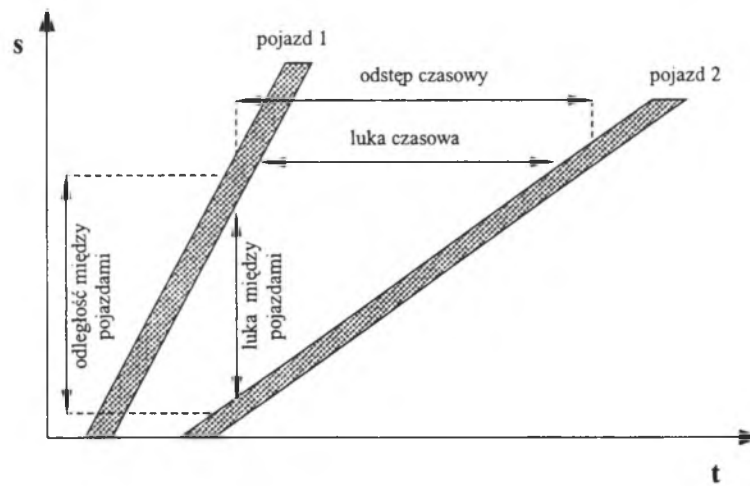
W modelu skrzyżowania z sygnalizacją świetlną zjawiska losowe to przede wszystkim:
- zgłoszenia pojazdów na poszczególnych pasach i wlotach;
- struktura kierunkowa pojazdów (jej rozmieszczenie w potoku);
- struktura rodzajowa pojazdów (jej rozmieszczenie w potoku).

[1] Wydział Transportu, Politechnika Śląska, Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, grzesier@polsl.katowice.pl

Oznacza to, iż wygenerowany pojazd musi mieć określony:
- moment zgłoszenia;
- wlot i pas, na którym się zgłasza;
- kierunek, w którym dany pojazd zamierza jechać;
- rodzaj (samochód osobowy, dostawczy, autobus itd.).

2. ODSTĘPY MIĘDZY ZGŁOSZENIAMI POJAZDÓW

Analizę strumieni ruchu drogowego prowadzi się przede wszystkim na podstawie odstępów między pojazdami. Odstęp między pojazdami jest to odległość mierzona od przodu pierwszego pojazdu do przodu drugiego pojazdu. Odstęp czasowy jest to czas między kolejnymi przejazdami „przodów" pojazdów przez dany przekrój drogi. Luka jest to odległość między tyłem poprzedniego pojazdu a przodem kolejnego. Obrazowo odstępy i luki między pojazdami przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Różnica pomiędzy luką a odstępem między pojazdami
Fig. 1. Difference between the vehicles gap and distance
Źródło: opracowano na podstawie [7]

Zgłoszenia pojazdów na skrzyżowanie mają rozkład Poissona. Rozkład ten można opisać za pomocą odstępów czasowych między pojazdami, generowanych według przesuniętego wykładniczego rozkładu prawdopodobieństwa [4, 5, 8]:

$$P(h \geq t) = e^{-(t-t_0)/(\bar{t}-t_0)} \tag{1}$$

gdzie:

$\bar{t}$ - średni odstęp czasu między pojazdami;

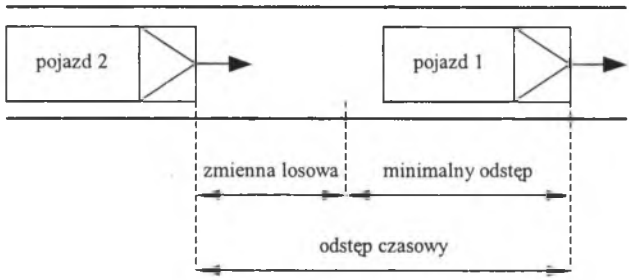
t_0 - minimalny odstęp czasu między pojazdami na jednym pasie.

Zatem generator liczb pseudolosowych, w tym przypadku, powinien losować odstępy o zadanym – wykładniczym przesuniętym – rozkładzie.

3. OPIS GENERATORA

Generator, opracowany przez autora artykułu, losuje odstępy czasowe (o rozkładzie wykładniczym przesuniętym) między zgłoszeniami pojazdów na danym pasie ruchu. Na podstawie danych wejściowych określa ponadto rodzaj każdego pojazdu i kierunek jego jazdy.

Przesunięcie w rozkładzie wykładniczym stanowi minimalny odstęp, czyli najmniejszy zaobserwowany odstęp czasowy między kolejnymi pojazdami. Jest to stały składnik każdego odstępu czasowego (rys. 2).



Rys. 2. Minimalny odstęp jako stała część odstępu czasowego między pojazdami
Fig. 2. Minimal distance as a part of a time distance between vehicles

Minimalny odstęp nie jest jednak jednakowy dla wszystkich pojazdów. W generatorze założono zależność długości minimalnego odstępu od rodzaju poprzedniego pojazdu. Jest to uzasadnione, ponieważ pojazdy różnych kategorii mają różne długości i potrzebują różnych czasów na przejazd odcinka drogi. Jako przelicznik zastosowano wielkości przyjęte w metodzie TRRL zaadaptowane do polskich warunków (tablica 1). Wykonane obserwacje nie dały podstaw do odrzucenia tego założenia. Zatem odstęp czasowy między zgłoszeniami kolejnych pojazdów wnosi:

$$\textit{odstęp czasowy} = \textit{zmienna losowa} + \textit{minimalny odstęp} * \textit{przelicznik} \qquad (2)$$

Tablica 1

Współczynniki przeliczeniowe

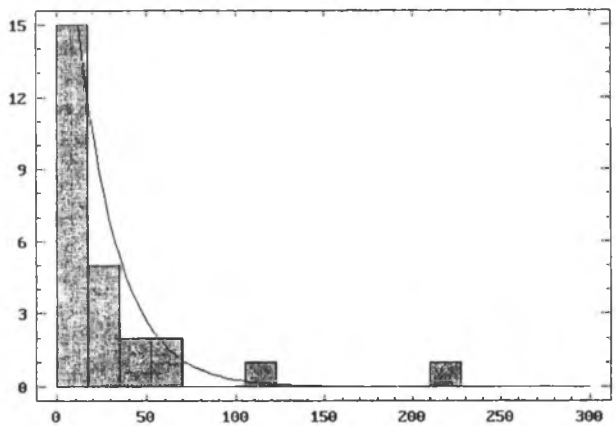
Rodzaj pojazdu	Oznaczenie	Współczynnik
samochody osobowe i dostawcze	SOD	1,0
samochody ciężarowe	C	1,6
samochody ciężarowe z przyczepą, naczepą	CP	2,2
autobusy	A	1,8
motocykle	M	0,4
rowery	R	0,3

Źródło: opracowano na podstawie [1, 10]

4. WERYFIKACJA GENERATORA

W celu weryfikacji działania generatora wykonano:
- testy zgodności X^2 wylosowanych odstępów;
- porównanie funkcji gęstości rzeczywistych odstępów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną z wygenerowanymi.

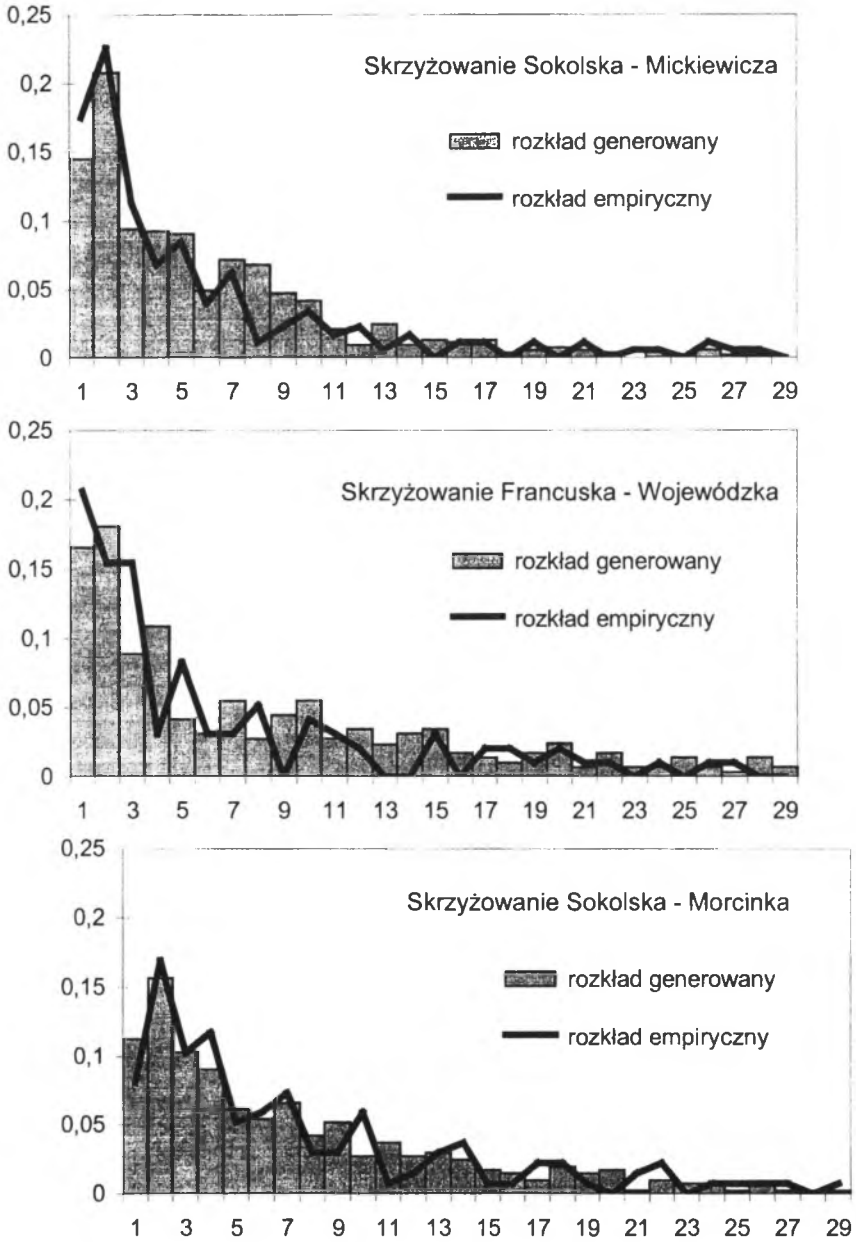
Sprawdzenie zgodności generowanego ciągu liczb z rozkładem wykładniczym wykonano przy pomocy pakietu STATGRAPHICS. Jest to rozbudowany program służący do analizy statystycznej wyników wykonanych pomiarów. Wynik każdego wykonanego testu w tym pakiecie poznaje się po otrzymanej wartości poziomu istotności. Przy poziomie istotności 0,05, bo taki jest przyjmowany w badaniach transportowych [7], nie było podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczości generowanych odstępów.



Rys. 3. Histogram zmiennej losowej z wykresem funkcji gęstości analizowanego rozkładu teoretycznego otrzymany z programu STATGRAPHICS
Fig. 3. Histogram of random variable and the chart of density of theoretical distribution received with the STATGRAPHICS program

Następnie przeprowadzono badania odstępów czasowych na wlotach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Badania wykonano w dni powszednie na trzech katowickich skrzyżowaniach poza godzinami szczytu. Niektóre dane pomiarowe zawarto w tablicy 2. Na wszystkich badanych skrzyżowaniach obserwuje się wpływ poprzedzających sygnalizacji świetlnych. Najmniejszy zaobserwowano na wlocie północnym skrzyżowania Sokolska – Morcinka.

Na ulicach Katowic przeważa ruch samochodów osobowych i dostawczych (ponad 90%). Minimalny zaobserwowany odstęp między pojazdami był jednakowy dla wszystkich pomiarów i wynosił 1 [s]. Wielkość ta określana jest, podczas szkolenia kierowców, jako *najmniejszy bezpieczny odstęp* w ruchu miejskim niezbędny do uniknięcia zderzenia w razie hamowania lub zatrzymania się poprzedzającego pojazdu.



Rys. 4. Porównanie generowanych i empirycznych rozkładów odstępów czasowych na badanych skrzyżowaniach

Fig. 4. Comparison of generated and empirical time distances distributions on analyzed intersections

Tablica 2

Badania odstępów czasowych

Skrzyżowanie	Sokolska - Mickiewicza	Francuska - Wojewódzka	Sokolska - Morcinka
Miejsce pomiaru	ulica Sokolska wlot południowy pas wewnętrzny	ulica Francuska wlot południowy pas lewy	ulica Sokolska wlot północny pas zewnętrzny
Natężenie ruchu [P/h]	531	291	408
Struktura rodzajowa [%]	SOD: 99,4 C: 0,6	SOD: 94,8 A: 5,2	SOD: 91,9 C: 5,9 A: 2,2
Średni odstęp [s]	6,7	7,1	7,9
Minimalny odstęp [s]	1,0	1,0	1,0

Źródło: opracowanie własne

Porównanie funkcji gęstości rozkładów wylosowanych przy pomocy generatora z rozkładami uzyskanymi empirycznie pozwala wysunąć tezę, że mają one zadowalającą zgodność statystyczną (rys. 4).

5. PODSUMOWANIE

Komputerowe modelowanie potoków ruchu umożliwia uzyskanie w krótkim czasie wyników w wystarczająco dobry sposób odzwierciedlających rzeczywiste procesy ruchu, których empiryczne poznanie byłoby czasochłonne, a niejednokrotnie wręcz niemożliwe. W modelach ruchu drogowego duże znaczenie mają występujące w nim zmienne losowe, które kontrolują zachowanie procesów, czyli występowanie różnych zdarzeń. Dlatego istotna jest budowa odpowiednich generatorów liczb pseudolosowych pozwalających otrzymać dane zgodne z rzeczywistymi lub do nich jak najbardziej zbliżone. Przedstawiony generator spełnia powyższe kryterium. Pozwala na wygenerowanie odstępów czasowych między zgłoszeniami kolejnych pojazdów na pasie ruchu posiadających rozkład wykładniczy przesunięty.

Obecnie trwają prace nad dostosowaniem generatora do sytuacji dużego ruchu (gdy natężenie zbliża się do przepustowości). W takich przypadkach odstępy czasowe mają rozkład Erlanga, ponieważ zwiększa się ich czynnik deterministyczny. Należy znaleźć kompromisowe rozwiązanie uzależniając generowane odstępy od wielkości natężenia na wlocie.

Literatura

1. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. WKiŁ, Warszawa 1999.
2. Fishman G. S.: Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1981.
3. Gartner N., Messer C. J., Rathi A. K.: Traffic Flow Theory A State-of-the-Art Raport. Transportation Research Board, http://wwwcta.ornl.gov/cta/research/trb/tft.html
4. Kuwahara M., Horiguchi R., Yoshii T.: Standard Verification Proces for Traffic Flow Simulation Model, Traffic Simulation Committee, Japan Society of Traffic Engineers, 2002.
5. Perkowski P.: Technika symulacji cyfrowej. WNT, Warszawa 1980.
6. Popularna Encyklopedia Powszechna, Kraków 1998.
7. Praca zbiorowa pod red. Janecki R., Pawlicki J.: Laboratorium statystyki systemów i procesów transportowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.

8. Praca zbiorowa pod red. Krystek R.: Symulacja ruchu potoku pojazdów. WKiŁ, Warszawa 1980.
9. Rajski J., Tyszer J.: Modelowanie i symulacja cyfrowa. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1986.
10. Tracz M., Allsop R. E.: Skrzyżowania z sygnalizacją świetlną. WKiŁ, Warszawa 1990.
11. Webster F. V.: Traffic signal settings. Road Research Paper No. 39, Her Majesty's Stationary Office, London 1958.
12. Woch J.: Teoria potoków ruchu (w druku).

Recenzent: Dr hab. Tomasz Amboziak, prof. Politechniki Warszawskiej

Abstract

The computer modelling of traffic flow allows receiving results in a very short time and they reflect the real traffic processes well enough. What is more, empiric methods are time-consuming and very often impossible to apply. For the road traffic models very important are random variable that control the process behavior (various events to happen). And that is why creating generators of pseudo-random numbers is very important. That allows receiving well-matched information or at least data compatible with real ones well enough. The generator that has been described covers those criteria and allows generating time distances between vehicles appearing on a lane. The vehicles are described by the shifted exponential distribution.

Currently the generator is being modified to the situation of huge traffic when traffic flow almost reaches the capacity. In this case time distances are described by the Erlang distribution beacause their deterministic element are growing. There is a need to find a compromise solution that allows generating spaces due to the traffic flow on an inlet of intersection.

Praca wykonana w ramach badań własnych BW457/RT5/2003