

Jerzy SKORWIDER
Instytut Transportu
Politechniki Śląskiej

MODEL SYSTEMU STERUJĄCEGO RUCHEM ULICZNYM

Streszczenie. Modernizacja systemów transportowych powinna zmierzać do lepszego wykorzystania istniejącej infrastruktury poprzez poprawę układu komunikacyjnego, zmiany organizacji ruchu oraz zastosowanie sterowania ruchem. Modernizacja systemów transportowych ma więc na celu poprawę poziomu obsługi transportowej kraju oraz złagodzenie ujemnych skutków motoryzacji. Jednym z działań mających na celu usprawnienie transportu jest budowa nowego lub modernizacja istniejącego systemu sterowania ruchem. Badania efektywności stosowanych metod sterowania ruchem mogą być przeprowadzane w fazie projektowania systemu sterującego. W tym celu projektant musi dysponować modelem symulacyjnym systemu.

W artykule jest przedstawiony model matematyczny systemu sterującego ruchem ulicznym, który może być zastosowany do badań symulacyjnych różnych metod sterowania ruchem. Prezentowany model jest uporządkowanym zbiorem sterowań dla wszystkich pasów ruchu wszystkich skrzyżowań na danej sieci ulic. Model systemu sterującego ma charakter ogólny, nie zależy od zastosowanej metody sterowania.

1. Wprowadzenie

Modernizacja systemów transportowych powinna zmierzać do lepszego wykorzystania istniejącej już infrastruktury poprzez poprawę układu komunikacyjnego, zmiany organizacji ruchu oraz zastosowanie sterowania ruchem.

Obecnie obserwowane skupienie uwagi na modernizacji systemów transportowych jest wynikiem takich czynników, jak [3]:

- ograniczenia inwestycji komunikacyjnych,
- wzrostu kosztów budowy dróg i ulic,
- wzrostu zainteresowania społeczeństwa i władz problemami zanieczyszczenia środowiska, będącego konsekwencją rozbudowy sieci dróg i ulic oraz rozwoju motoryzacji,
- wzrostu cen paliw płynnych oraz niepewności obecnych i przyszłych źródeł energii.

Modernizacja systemów transportowych ma więc na celu poprawę poziomu obsługi transportowej kraju oraz złagodzenie ujemnych skutków motoryzacji. Jednym z działań mających na celu usprawnienie transportu jest budowa nowego lub modernizacja istniejącego systemu sterowania ruchem. Aktualnie

stosowane metody sterowania ruchem na sieci ulic można podzielić na następujące grupy:

- nieskoordynowane sterowanie sygnalizacją świetlną,
- sterowanie koordynowane z jednym stałoczasowym planem sygnalizacji,
- sterowanie z selekcją planów sygnalizacji zależną od czasu,
- sterowanie z selekcją planów sygnalizacji zależną od ruchu,
- sterowanie na zasadzie generowania planów sygnalizacji.

Badania efektywności różnych metod sterowania we wszystkich możliwych warunkach mogą być przeprowadzane już w fazie projektowania systemu sterującego. W tym celu projektant musi dysponować modelem symulacyjnym systemu.

W artykule jest przedstawiony matematyczny model systemu sterującego ruchem ulicznym, który może być zastosowany do badań symulacyjnych różnych metod sterowania ruchem.

2. Formalny zapis systemu sterującego

System sterujący obejmuje sieć n-skrzyżowań, którą można przedstawić w postaci wektora:

$$S = \begin{bmatrix} S^1 \\ S^2 \\ \vdots \\ S^i \\ \vdots \\ S^n \end{bmatrix} \quad (1)$$

Każde skrzyżowanie jest zbiorem pasów ruchu. Dla sieci skrzyżowań mogą być realizowane różne sterowania z selekcją planów sygnalizacji zależną od czasu lub od ruchu. Zatem i-te skrzyżowanie sieci S^i jest zbiorem "m" pasów ruchu "P" o "k" różnych sterowaniach. Można je więc zapisać za pomocą macierzy zawierającej m-wierszy oraz k-kolumn.

$$S^i \frac{df}{dt} = \begin{bmatrix} 1P_1^i & 2P_1^i & \dots & 1P_1^i & \dots & kP_1^i \\ 1P_2^i & 2P_2^i & \dots & 1P_2^i & \dots & kP_2^i \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1P_j^i & 2P_j^i & \dots & 1P_j^i & \dots & kP_j^i \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 1P_m^i & 2P_m^i & \dots & 1P_m^i & \dots & kP_m^i \end{bmatrix} \quad (2)$$

- gdzie: i - wskaźnik liczby skrzyżowań $i=1, 2, \dots, n$,
 j - wskaźnik liczby pasów ruchu (dla i -tego skrzyżowania $j = 1, 2, \dots, m$)
 l - wskaźnik liczby sterowań (planów sygnalizacji) $l = 1, 2, \dots, k$.

Zatem k -sterowań sieci n -skrzyżowań przedstawia się w postaci n -macierzy (2) o różnej liczbie wierszy, ponieważ liczba pasów ruchu dla poszczególnych skrzyżowań może być różna.

Pas ruchu "P" jest określony przez następujące parametry:

- efektywny czas sygnału zielonego $T_{GE} [s]$,
- efektywny czas sygnału czerwonego $T_{RE} [s]$,
- czas offsetu $T_{OF} [s]$,

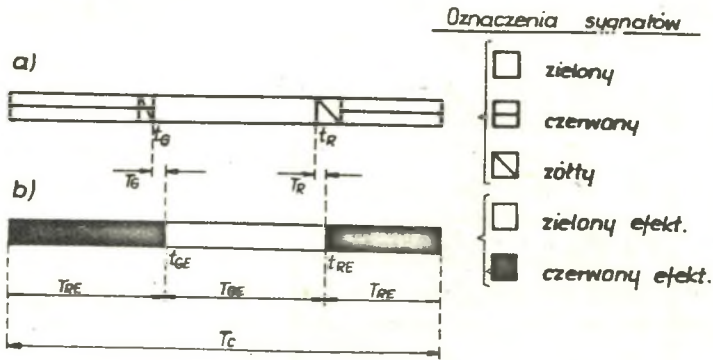
przy czym: $T_{GE} + T_{RE} = T_C$, gdzie: $T_C [s]$ jest długością cyklu sygnalizacyjnego.

Wobec tego sterowanie dla j -tego pasa ruchu i -tego skrzyżowania, na którym jest realizowany l -ty plan sygnalizacji, można zapisać w następującej postaci:

$$1P_j^i = \begin{bmatrix} 1T_{GE} & 1 \\ 1T_{OF} & j \end{bmatrix} \quad (3)$$

Ponieważ w zdecydowanej większości przypadków sieć skrzyżowań dla danego planu sygnalizacji charakteryzuje się stałą wartością długości cyklu sygnalizacji T_C , zatem:

$$T_C = [1T_C, 2T_C, \dots, 1T_C, \dots, kT_C] \quad (4)$$



Rys. 1. Przykładowy przebieg sygnałów oświetlnych dla pasa ruchu
Fig. 1. Exemplary run of light signals for a traffic way

Na rys. 1a jest przedstawiony przykładowy przebieg sygnałów świetlnych dla pewnego pasa ruchu skrzyżowania.

Na rys. 1a przyjęto oznaczenia:

t_G [s] - moment pojawienia się sygnału zielonego na sygnalizatorze,

t_R [s] - moment pojawienia się sygnału zakazu jazdy (sygnału żółtego przed sygnałem czerwonym) na sygnalizatorze.

Efektywne momenty pojawienia się sygnału zielonego t_{GE} [s] lub czerwonego t_{RE} [s] (rys.1b) mogą różnić się nieco od momentów t_G oraz t_R i są zależne od warunków lokalnych oraz czasu reakcji i sposobu jazdy kierowców.

$$t_{GE} = t_G + T_G$$

$$t_{RE} = t_R + T_R$$

Wartości czasów T_G [s] oraz T_R [s] należy każdorazowo ustalić dla danego skrzyżowania lub sieci skrzyżowań i wprowadzić jako dane programu symulacyjnego.

Efektywny czas sygnału zielonego T_{GE} [s] oblicza się jako różnicę między momentem pojawienia się efektywnego sygnału czerwonego a momentem pojawienia się efektywnego sygnału zielonego:

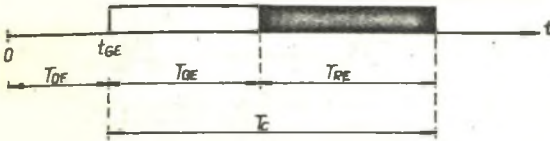
$$T_{GE} = t_{RE} - t_{GE} \quad \text{gdy } t_{RE} > t_{GE}$$

oraz

$$T_{GE} = T_C - (t_{GE} - t_{RE}) \quad \text{gdy } t_{RE} < t_{GE}$$

Pozostałą część cyklu sygnalizacyjnego stanowi efektywny czas sygnału czerwonego T_{RE} [s] :

$$T_{RE} = T_C - T_{GE}$$



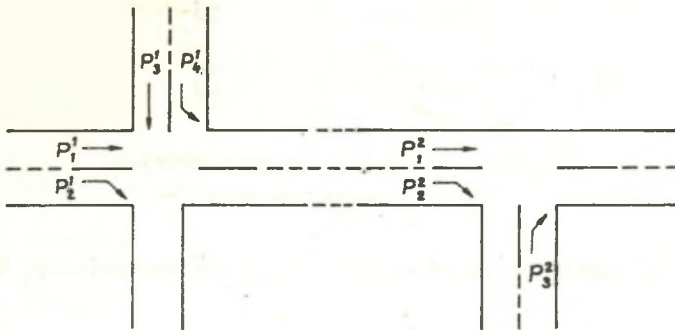
Rys. 2. Offset
Fig. 2. Offset

Czas offsetu T_{OF} [s] jest odcinkiem czasowym mierzonym między umownym zerem a zredukowanym momentem pojawienia się efektywnego sygnału zielonego dla danego pasa ruchu (rys.2):

$$T_{OF} = (t_{GE}) \bmod T_C$$

3. Przykład

Na rys. 3 przedstawiona jest sieć uliczna składająca się z dwóch skrzyżowań ($i=2$) z oznaczonymi pasami ruchu.

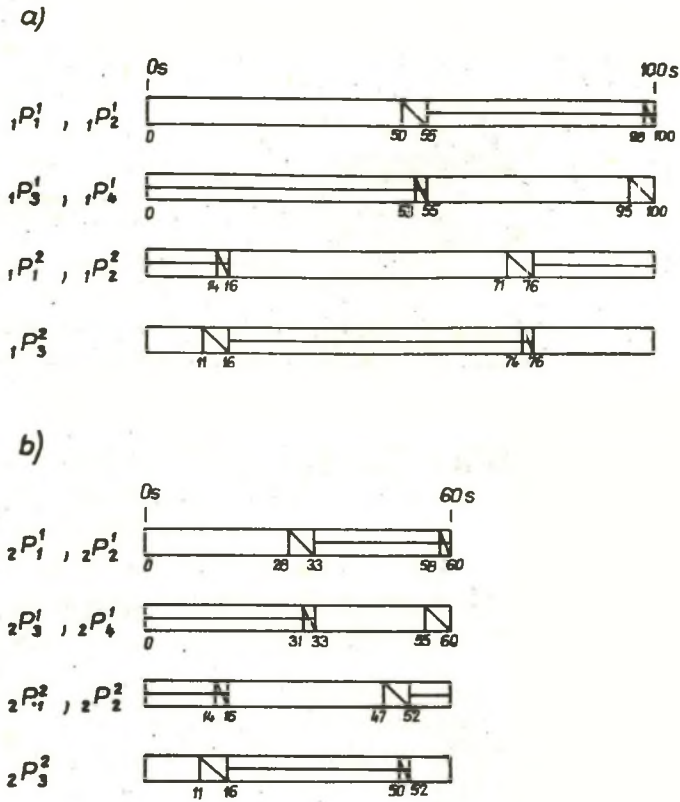


Rys. 3. Sieć uliczna
Fig. 3. Traffic network

Zatem:

$$S = \begin{bmatrix} S^1 \\ S^2 \end{bmatrix}$$

(1)



Rys. 4. Programy sygnalizacyjne

Fig. 4. Signaling programs

Dla sieci ulicznej realizowane są dwa plany sygnalizacji (1=2) pokazane na rys.4.

Wobec tego:

$$S^1 = \begin{bmatrix} 1P_1^1 & 2P_1^1 \\ 1P_2^1 & 2P_2^1 \\ 1P_3^1 & 2P_3^1 \\ 1P_4^1 & 2P_4^1 \end{bmatrix}$$

(2¹)

$$S^2 = \begin{bmatrix} 1P_1^2 & 2P_1^2 \\ 1P_2^2 & 2P_2^2 \\ 1P_3^2 & 2P_3^2 \end{bmatrix} \quad (2^2)$$

Zakładając $T_G = T_R = 0$ (tzn. $t_{GE} = t_G$ oraz $t_{RE} = t_R$), otrzymuje się następujące sterowanie dla pasów ruchu:

- dla pierwszego planu sygnalizacji ($T_C = 100s$):

$$\begin{aligned} 1P_1^1 &= 1P_2^1 = [50, 0] \\ 1P_3^1 &= 1P_4^1 = [40, 55] \\ 1P_1^2 &= 1P_2^2 = [55, 16] \\ 1P_3^2 &= [35, 76] \end{aligned} \quad (3^1)$$

- dla drugiego planu sygnalizacji ($T_C = 60s$):

$$\begin{aligned} 2P_1^1 &= 2P_2^1 = [28, 0] \\ 2P_3^1 &= 2P_4^1 = [22, 33] \\ 2P_1^2 &= 2P_2^2 = [31, 16] \\ 2P_3^2 &= [19, 52] \end{aligned} \quad (3^2)$$

Cykl sygnalizacyjny:

$$T_C = [100, 60] \quad (4)$$

4. Uwagi końcowe

Przedstawiony w artykule model systemu sterującego ruchem ulicznym ma charakter ogólny, abstrahuje od zastosowanej metody sterowania.

Otrzymanie więc modelu symulacyjnego systemu sterowania ruchem jest możliwe po:

- zdefiniowaniu i zamodelowaniu obiektu sterowania w postaci konkretnej sieci ulic,
- zamodelowaniu systemu sterującego ruchem, którego formalny zapis jest przedmiotem artykułu,

- przyjęciu metody sterowania w postaci odpowiadającego jej algorytmu wyboru planów sygnalizacji.

Wszelkie prace projektowe zmierzające do optymalizacji wybranego parametru ruchu wymagają sporządzenia modelu formalnego systemu transportowego. Przy znacznym stopniu złożoności modelu obliczenia ręczne są bardzo żmudne i pracochłonne. Zdefiniowany w artykule sposób zapisu wprowadzono do opracowań symulacyjnych wykonywanych aktualnie przez autora. Komputerowa forma modelu sieci transportowej umożliwia przeprowadzenie szeregu eksperymentów dla potrzeb oceny efektywności różnych metod sterowania. Efekty tych prac opublikowane zostaną w następnych pracach.

LITERATURA

- [1] Pomiary i badania ruchu drogowego. Praca zbiorowa pod redakcją M. Tracza. WKiŁ, Warszawa 1984.
- [2] Symulacja ruchu potoków pojazdów. Praca zbiorowa pod redakcją R. Krystka. WKiŁ, Warszawa 1980.
- [3] Systemy sterowania ruchem ulicznym. Praca zbiorowa pod redakcją K. Jamroza. WKiŁ, Warszawa 1984.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Jan Piecha

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Р е з ю м е

В работе указывается, что модернизация транспортных систем должна идти в направлении лучшего использования существующей инфраструктуры, путём улучшения транспортной системы, применения новейшей организации движения и управления этим движением. И так целью модернизации транспортных систем является улучшение уровня транспортного обслуживания страны а также уменьшение отрицательных последствий моторизации. Работы по усовершенствованию включают постройку новой или модернизацию существующей системы управления движением. Исследования эффективности применяемых методов управления движением могут быть проведены в фазе проектирования управляющей системы. Для этого проектировщик должен иметь модель симуляции системы.

В статье, в связи с этим, представлена математическая модель системы управляющей уличным движением, которую можно применить для симуляционных исследований различных методов управления движением. Показанная модель является упорядоченным множеством управлений для всех зон движения всех перекрёстков в данной сети улиц. Модель управляющей системы носит общий характер и не зависит от применяемого метода управления.

TRAFFIC CONTROL SYSTEM MODEL

S u m m a r y

Modernization of the transport system should be performed to improve infrastructure by correction of the communication system, changes in traffic organization and the use of control system. Thus its objective is to improve the transport service of the country and diminish the negative results of motorization. One of possible method for the improved is connected with building of the new control system or modernization of the existing one. Investigation of the efficiency of the methods of traffic control may be performed in the design phase. Thus a designer must have the simulation model of the system. A mathematical model of a traffic control system is presented in the paper and it may be used to simulation experiments for different control techniques. This model is the orde red set of control for all traffic ways of all crossings in the given street network. The model of the control system is general and it does not depend on the used control techique.