

Ireneusz CELIŃSKI

## SYMULATOR TRÓJWYMIAROWY RUCHU POJAZDÓW NA NIEREGULOWANYCH SKRZYŻOWANIACH DROGOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono koncepcję programu symulacyjnego obliczającego parametr czasu granicznego  $t_g$  na wlotach podporządkowanych skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. Program został oparty na technikach wizualizacji sceny 3D udostępnianych przez biblioteki OpenGL® firmy Silicon Graphics INC.©

## THREE-DIMENSIONAL TRAFFIC SIMULATOR OF NOT REGULATED CROSSROAD

**Summary.** The idea of 3D simulation programme, counting parameter  $t_g$  for not regulated crossroad has been presented in this article. Proposed programme uses OpenGL® library for 3D scene visuallisation.

### 1. WPROWADZENIE – PROGRAMY SYMULACYJNE

Współczesna nauka i technika w coraz większym stopniu opiera się na zastosowaniu i wykorzystaniu technik symulacji komputerowej. Związane jest to z faktem, że symulacja przeprowadzana z wykorzystaniem mocy obliczeniowej współczesnych komputerów pozwala na manipulowanie dowolnym rodzajem informacji symbolicznych zgodnie z dowolną (zadaną przez użytkownika) regułą działania [1]. W przeciwieństwie do innych metod badawczych, symulacja komputerowa nie jest podatna na szereg ograniczeń, w tym między innymi: ograniczeń czasowych, technicznych, ekonomicznych, rozmiaru etc. Podstawową cechą komputerowych badań symulacyjnych jest elastyczność związana z możliwością syntetycznego eksperymentowania. Jest to zaleta wyróżniająca tę gałąź badań na tle badań empirycznych i rozwiązań analitycznych [2]. W badaniach symulacyjnych wyróżniamy symulacje komputerowe służące do modelowania cyfrowego rzeczywistych procesów oraz symulatory komputerowe przeznaczone do wizualizacji tych procesów. Są to dwa odmienne podejścia, różniące się zdecydowanie kontekstem użytkarnym. Obydwa podejścia do zagadnień symulacji rzeczywistych procesów mają wspólne źródło w modelu matematycznym, który jest logicznym opisem systemu lub sieci działań, zaprogramowanych w celu rozwiązania (lub wizualizacji) za pomocą komputera postawionego zadania [2].

Przedmiotowy symulator skrzyżowania opracowany został celem rozwiązywania zadań i opracowywania zagadnień związanych z ruchem na skrzyżowaniach nieregulowanych. Symulator opracowany został pod kątem wyznaczania wartości czasu granicznego  $t_g$  na skrzyżowaniach nieregulowanych dróg jednopasmowych. Opisane powyżej zalety technik symulacyjnych pozwalają łatwo modyfikować symulator dla celów innych modeli (np. skrzyżowań z drogami wielopasmowymi). Przedstawiony poniżej program jest przykładem zarówno modelu symulacyjnego przygotowanego celem parametryzacji analizowanego modelu, jak również typowego symulatora wizualizacyjnego.

## 2. SPOSOBY WYZNACZANIA CZASU GRANICZNEGO $T_G$

W zadaniach związanych z obliczaniem przepustowości skrzyżowań nieregulowanych podstawowym problemem jest ustalenie wartości parametru granicznego odstepu czasu relacji podporządkowanej  $t_g$ . Zgodnie z definicją podana w [3], jest to taka wartość odstepu czasu między pojazdami w potoku nadrzędnym, powyżej której każdy odstęp zostanie wykorzystany do wykonania określonego manewru przez przeciętnego kierowcę pojazdu podporządkowanego, zaś każdy odstęp o wartości mniejszej nie będzie mógł być wykorzystany. Parametry wpływające na wartość  $t_g$  to: rodzaj manewru, sposób podporządkowania wlotu, organizacja ruchu, prędkość ruchu na drodze głównej. Za pracą [3] przedstawiono poniżej tabelaryzowane średnie wartości czasu granicznego  $t_g$  [s].

Tabela 1

Graniczne odstepy czasu  $t_g$  [s]

Rodzaj manewru/sposób podporządkowania wlotu	Prędkość ruchu na drodze głównej [km/h]		
	50	70	90
W prawo przy znaku A7	4.8	5.5	6.0
W prawo przy znaku B20	5.5	6.0	6.5
Na wprost przy znaku A7	5.5	6.0	6.5
Na wprost przy znaku B20	6.0	6.5	7.2
W lewo przy znaku A7	6.0	6.5	7.0
W lewo przy znaku B20	6.5	7.2	7.7

Źródło: [3]

Do podanych w tabelicy 1 wartości  $t_g$  stosuje się odpowiednie poprawki w zależności od parametrów analizowanego skrzyżowania [3]. Chronologicznie przedstawiane były następujące definicje czasu granicznego  $t_g$ :

- jest to odstęp czasu, który odpowiada lub nie 50% kierowców potoku podporządkowanego. (Greenshields 1947 r.),
- jest to odstęp czasu, w którym suma luk czasowych akceptowanych jest równa sumie luk czasowych odrzucanych przez kierowców (Raff 1950 r.),
- Grabe rozszerza w 1954 r. definicję Raffa o wszystkie luki czasowe występujące w strumieniu głównym [1].

Uwzględniając stochastyczny charakter wartości czasu granicznego  $t_g$  można spróbować wyznaczyć ten parametr z pomocą przedstawionego symulatora (programu) skrzyżowania nieregulowanego. Przyjmujemy, że czas graniczny  $t_g$  przybiera indywidualne wartości dla każdego z kierowców potoku podporządkowanego, zależy bowiem od wielu wartości

losowych, takich jak: czas reakcji kierowcy, doświadczenie, stan wzroku, stan techniczny pojazdu, parametry eksploatacyjne pojazdu i wielu jeszcze innych. Dopiero złożenie tych parametrów z parametrami takimi, jak widoczność, rodzaj manewru, sposób podporządkowania, jednoznacznie określa wartość parametru  $t_g$ . W programie symulacyjnym zaimplementowano następujący sposób ustalania czasu granicznego  $t_g$ :

- program z dostatecznie dużą (ograniczoną przez hardware i software komputera) wiernością odzwierciedla rzeczywiste warunki ruchu na skrzyżowaniu (tzw. scena) i wizualizuje je za pomocą technik wyświetlania grafiki 3D,
- kierowca strumienia podporządkowanego wykonuje z pomocą symulatora manewr włączenia się do ruchu na skrzyżowaniu w dowolnej relacji (jest to odpowiednik wizualny gier typu FPG – First Person Game),
- na podstawie zaobserwowanych parametrów manewru wykonanego przez kierowcę strumienia podporządkowanego program oblicza wartość czasu  $t_g$ , dzięki jednoczesnej obserwacji pozostałych pojazdów uczestniczących w ruchu na skrzyżowaniu (ruchem pojazdów w obecnej implementacji programu steruje komputer na podstawie zadanych charakterystyk deterministycznych).

### 3. SYMULATOR

Przedmiotowy symulator 3D skrzyżowania nieregulowanego skonstruowano na podstawie języka programowania OpenGL® firmy Silicon Graphics INC.© [4]. Język ten pozwala na tworzenie realistycznych scen typu 3D na dowolnej platformie sprzętowej: UNIX, Windows, Mac . Więcej informacji z zakresu programowania realistycznych scen 3D z wykorzystaniem języka OpenGL® znaleźć można w pracach [5][6][7]. W programie podjęto próbę odtworzenia w sposób realistyczny skrzyżowania nieregulowanego wraz z jego otoczeniem z uwzględnieniem wszystkich istotnych parametrów, takich jak: widoczność z wlotów, znaki podporządkowania, pasy dzielące, parametry ruchowe itp. Podstawowe okno programu przedstawiono na rysunku 1, jest to tzw. menu główne programu.

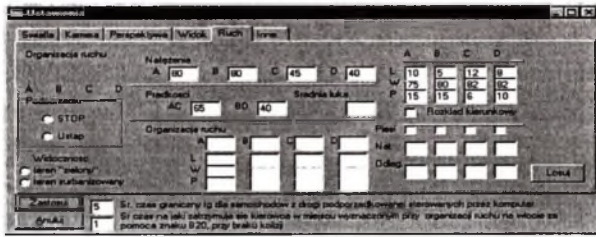


Rys. 1. Podstawowe okno dialogowe programu symulacyjnego  
Fig. 1. Basic window simulation programme

Okno główne programu składa się z trzech zasadniczych części: A, B, C. Część A stanowi menu główne programu które umożliwia dostęp do poszczególnych opcji programu oraz wyświetla na bieżąco wybrane parametry sterujące sceny 3D, takie jak: ustawienie kamery, ustawienie punktu wodzącego, wartości przekształceń planarnych itp. W części B okna głównego konstruowana jest i odświeżana w czasie rzeczywistym scena 3D przedstawiająca analizowane skrzyżowanie. W części C wyświetlane są parametry związane ze stopniem odzwierciedlenia realizmu sceny oraz parametry związane z ruchem pojazdów i innymi parametrami geometrycznymi. Przystępując do symulacji należy najpierw wybrać odpowiednie ustawienia sceny 3D. Realizuje się to wybierając z menu głównego element



**Opcje**, a następnie wybierając typ operacji wykonywanych na scenie, np.: tekstury, światła, parametry ruchu, warunki atmosferyczne. Wybierając opcje <parametry ruchu> uzyskamy okienko takie, jak pokazano na rysunku 2.



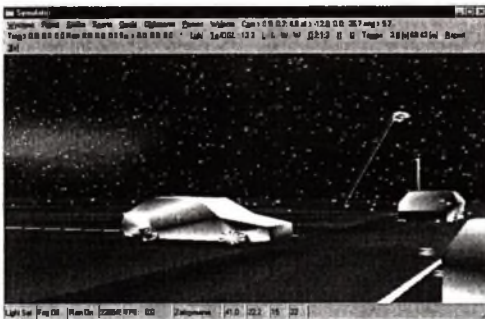
Rys. 2. Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenie zmian w parametrach ruchu  
 Fig.2. Window dialogue making possible introduction of changes in parameters of traffic

W oknie tym możemy zmienić większość z istotnych parametrów geometryczno-ruchowych analizowanego skrzyżowania. Program może również sam określić te parametry, stochastycznie po wybraniu przycisku <Losuj>.

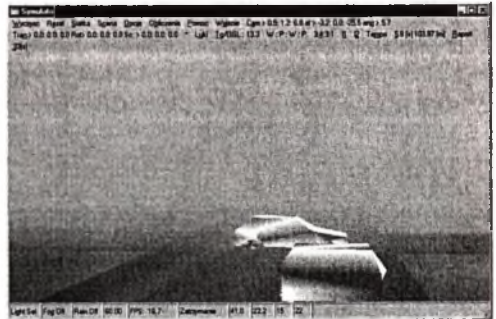
Zakładki **Swiatla** **Kamera** **Perspektywa** **Widok** **Ruch** **Inne** umożliwiają ponadto dostęp do parametrów sceny, dzięki czemu możemy wpływać, na takie parametry, jak:

- oświetlenie sceny (diffuse, ambient, specular, spot);
- ustawienie kamery na scenie i jej punktu wodzącego,
- ustawienie wartości perspektywy sceny lub punktu odniesienia,
- w zakładce <widok> możemy ustawić warunki atmosf. sceny: deszcz śnieg, mgła itp.
- zakładka <inne> odpowiada za ustalenie płynności animacji sceny3D.

Poniżej na rysunkach 3,4,5,6,7 przedstawiono różne możliwe do oddania stopnie realizmu sceny przedstawiającej skrzyżowanie nieregulowane



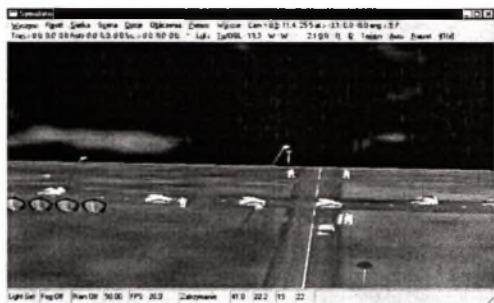
Rys.3. Realizacja sceny z wykorzystaniem efektu opadów atmosferycznych  
 Fig. 3. Realization of 3D scene with utilization of effect of atmospherical falls



Rys.4. Realizacja sceny z wykorzystaniem efektu mgły  
 Fig. 4. Realization of 3D scene with utilization of fog effect

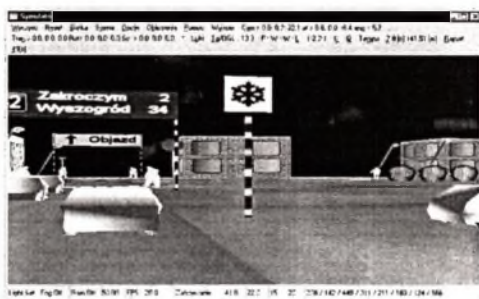


Rys.5. Realizacja sceny z uwzględnieniem ruchu pieszych  
 Fig. 5. Realization of 3D scene with pedestrian traffic



Rys.6. Realizacja sceny z uwzględnieniem widoczności z wlotu  
 Fig.6. Realization of 3D scene with regard of visibility from inflow

Na rysunku 5 piesi na poszczególnych wlotach poruszają się zgodnie z zadeklarowanymi na odpowiednich przejściach natężeniami ruchu pieszych, a przejścia umieszczane są w zadeklarowanych odległościach od osi skrzyżowania. Przedstawione na rysunku 6 zielone obiekty w kształcie krzewów, w ściśle określonej odległości od osi jezdni, symulują ograniczenia widoczności na wlocie podporządkowanym.



Rys.7. Przykładowe widoki na skrzyżowaniu z auta testowego  
 Fig.7. Example view on the crossroad from test car

Po zakończeniu aktualizacji ustawień sceny do pożądaných warunków należy przejść do części wykonania symulacji, czyli fizycznej próby włączenia się do ruchu na skrzyżowaniu z wlotu podporządkowanego. Realizuje się to wybierając kolejno z menu głównego kolejne opcje : <scena> → <pokaz> → <skrzyżowanie czterowlotowe > tak, jak pokazano to poniżej



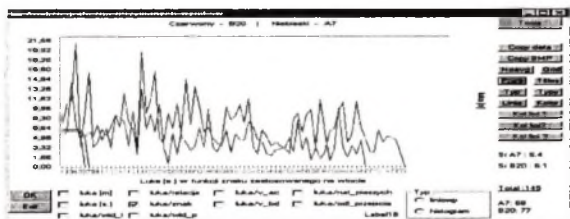
Po wybraniu ostatniej opcji na ekranie w części C zostanie wyświetlona scena przedstawiająca skrzyżowanie nieregulowane, a użytkownik zostanie umieszczony nad, w, lub obok auta testowego, którym będzie sterował próbując włączyć się do ruchu na skrzyżowaniu. Użytkownik auta testowego steruje nim za pomocą klawiszy kierunkowych tzw. arrow keys, natomiast relacje (kierunek jazdy) wybiera za pomocą klawiszy CTRL (lewo) lub SHIFT (prawo). Po włączeniu się auta testowego ze strumienia ruchu

podporządkowanego do innego strumienia użytkownik naciska klawisz ESC, który powoduje zapisanie wyników symulacji do pliku wyjściowego. Plik ten wskazujemy przed rozpoczęciem symulacji za pomocą opcji: **Opcje**, a następnie wybierając **Plik**. Należy zwrócić uwagę, aby był to standardowy plik na wyniki symulacji typu dane.txt. Zawartość tego pliku można przeglądać za pomocą wyboru następujących kolejnych opcji **Obliczenia** dalej **Odczyt danych**, a następnie **Podgląd danych**. Zawartość przykładowego pliku dane.txt przedstawiono na rysunku poniżej. Na rysunku tym widoczne są poszczególne parametry z symulacji, jakie są zapisywane do tego pliku.

lp.	luka [s]	luka [m]	relacja	znak drog.	v_ac	v_bd	nr luki a	nr luki o	nr luki d	nat. piesz.	odl. przeja.	wid. lewa	wid. p.
1	5.5	68.08	W	2	45	20	0	0	0	10	11	10	10
2	6.0	75.26	W	2	45	40	6	4	3	400	8	40	70
3	14.4	179.54	W	2	45	40	3	6	0	400	8	40	70
4	7.0	86.90	W	2	45	40	1	0	0	0	0	32	23
5	4.8	59.53	W	2	45	40	1	0	0	10	10	23	45

Rys.8. Zawartość pliku wyjściowego z wynikami symulacji  
Fig.8. Content of output file with results of simulation

Wyniki te można następnie analizować za pomocą prostej przeglądarki, która jest wbudowana w program i prezentuje dane w wybrany przez użytkownika sposób. Dostęp do graficznej prezentacji wyników uzyskuje się z pomocą opcji **Obliczenia**, a następnie wybierając **Wykresy**. Po wybraniu tych opcji ukazuje się okno dialogowe takie, jak na rysunku 9, które umożliwia wizualizację danych zgodnie z potrzebami użytkownika programu.



Rys.9. Moduł wizualizacji danych  
Fig. 9. Visualisation module of the data

W oknie tym możemy wizualnie sprawdzić wpływ następujących parametrów na wielkość czasu granicznego  $t_g$ :

- relacji wykonywanej z wlotu podporządkowanego w celu włączenia się do ruchu na skrzyżowaniu,
- znaku/sposobu podporządkowania wlotu, z którego następuje włączenie,
- prędkości na drodze głównej i podporządkowanej,
- natężenia pieszych, odległości przejścia od osi skrzyżowania,
- widoczności z wlotu podporządkowanego.

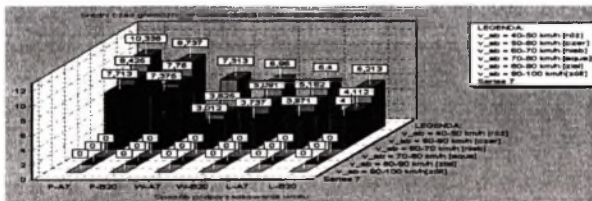
Ponadto do prezentowanego programu przygotowano specjalistyczny moduł prezentacji danych, który zostanie omówiony w kolejnych publikacjach na przedmiotowy temat. Program umożliwia zaprezentowanie wyników w formie tabelarycznej, z uwzględnieniem systematyki zaproponowanej w tabelicy 1 [3 - tablica 9.1]. W celu podglądu otrzymanych danych w formie tabelarycznej należy wybrać **Obliczenia**, a następnie w dalszej kolejności opcje **Tabelaryzacja**. Po wybraniu tych opcji ukazuje się okno takie, jak na rysunku 10, które umożliwia również analizę otrzymanych wyników pod kątem parametrów: rodzaj manewru, znak podporządkowania, prędkość na drodze głównej.



Rys.10. Tabelaryzacja wyników uzyskanych z symulacji  
 Fig.10. Table of the results obtained from simulation

#### 4. ANALIZA WYNIKÓW

W ramach testów przeprowadzono blisko 150 symulacji włączenia się do ruchu na skrzyżowaniu nieregulowanym z wlotu podporządkowanego. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys.11. Wstępne wyniki symulacji na podstawie 150 obiektów  
 Fig.11. Entrance results of simulation of the 150 objects

Otrzymane wyniki symulacji pokrywają się z rezultatami pomiarów  $t_g$  drogą analityczną bądź empiryczną przez Bohma, Hardsesa, Krella, Grabe'a [8], jak również przedstawionymi w [3]. Rozpiętość wartości czasu granicznego  $t_g$  wyniosła od 3.012 sek. do 10.33 sek. przy czym średnie dla poszczególnych parametrów (znak, prędkość na drodze głównej, relacja) oscylowały w granicach 6 sek.. Wynika z tych danych, że symulacja drogą odtworzenia warunków i procesów rzeczywistych daje dobre rezultaty i może być zastosowana z powodzeniem do obliczania czasu granicznego  $t_g$ .

Poniżej przedstawiono szczegółowe porównanie wyników symulacji z parametrami zaczerpniętymi z publikacji 3.

Tablica 2

Rodzaj manewru/sposób podporządkowania wlotu	Graniczne odstępy czasu $t_g$ [s]		
	Prędkość ruchu na drodze głównej [km/h]		
	40	50	70
W prawo przy znaku A7	10,33	8,42	7,71
W prawo przy znaku B20	9,73	7,75	7,37
Na wprost przy znaku A7	7,31	3,62	3,012
Na wprost przy znaku B20	6,96	5,99	3,73
W lewo przy znaku A7	6,4	5,16	3,97
W lewo przy znaku B20	6,21	4,11	4

Przedstawiony program symulacyjny jest częścią większego projektu badań skrzyżowań nieregulowanych. W chwili obecnej charakter stochastyczny ma wyłącznie strumień podporządkowany, którego parametry warunkuje zachowanie użytkownika programu. Pozostałe strumienie ruchu cechują się charakterystykami deterministycznymi. W dalszej części planowane jest zaimplementowanie metod stochastycznych z grupy Monte Carlo celem lepszego odwzorowania rzeczywistych warunków na skrzyżowaniach nieregulowanych.

## 5. PODSUMOWANIE

Może dla tak wybranej metody symulacji powstać zarzut, że nie spełnia ona podstawowego wymogu badań symulacyjnych, tj. skrócenia czasu obliczeń do minimum. Jest to bowiem metoda korzystająca z symulacji procesu w czasie rzeczywistym. Jednak metoda ta pozwala na obliczenia i symulacje rozproszone (WWW), dzięki czemu materiał empiryczny może objąć swoim zasięgiem znaczną część populacji, a już na pewno zawierać próbkę reprezentatywną. Pozwoli to zastąpić kosztowne badania empiryczne i dostarczyć je w sposób jakościowo lepszy.

W trakcie analizy zauważono tendencję do obniżania się czasu granicznego w miarę wzrostu prędkości na drodze głównej. Wynika to jednak z założonego sposobu odwzorowania świata rzeczywistego na scenie 3D. Użytkownik programu przed włączeniem się do ruchu na skrzyżowaniu musi wykonywać tzw. scrolling ekranu w celu zorientowania się w sytuacji na drodze głównej po lewej i po prawej stronie auta testowego. Wpływa to na dążenie do wykorzystywania krótszych luk w strumieniu nadrzędnym. Niedogodność ta zostanie poprawiona w dalszych wersjach programu. Można ponadto, w celu wyeliminowania tego błędu, zastosować wariant z podłączeniem trzech komputerów pracujących w sieci, tak aby sytuacje po lewej i prawej strony drogi auta włączającego się do ruchu odwzorowywały dwa dodatkowe monitory (rys.12).



Rys.12. Planowana modyfikacja programu symulacyjnego  
Fig.12. Future realisation of the programme

## Literatura

1. G.W.Evans, G.F.Wallace, G.L.Sutherland: Symulacja na maszynach cyfrowych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.
2. Francis F.Martin: Wstęp do modelowania cyfrowego, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
3. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu, WKiŁ, Warszawa 1997.
4. M.Segal, K.Akeley: The OpenGL® Graphics System, A specification version 1.2, Silicon Graphics INC®, Mar. 23,1998.
5. J.Neider, T.Davis, M.Woo: OpenGL programming Guide "The Red Book", Addison-Wesley Publishing Company, Silicon Graphics INC. 1994.
6. T.McReynolds, D.Blythe :Advanced Graphics Programming Techniques using OpenGL-Siggraph '98Course, London 1998.
7. M.Pasek: 3D StudioMax, Wydawnictwo Helion, Gliwice 1997.
8. W.Mensebach:Podstawy inżynierii ruchu drogowego, WKiŁ, Warszawa 1978



**Abstract**

In article one represented manner of calculation of parameter  $t_g$  with using simulation technicses with utilization of three-dimensional graphic art. Simulation introduced in programme based on the real image of traffic on not regulated crossroad from perspectives of person driving vehicle. Received results encourage to further works.

*Praca wykonana w ramach BW 470/RM10-5/2002.*