CZASOPISMO TECHNICZNE A
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 2-A/2008
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-6271

ALESSANDRO CALVI*, LIDIA ŻAKOWSKA**, FABRIZIO D'AMICO*

ZAAWANSOWANE METODY SYMULACJI W ROZWIĄZYWANIU INTERDYSCYPLINARNYCH PROBLEMÓW PLANOWANIA I PROJEKTOWANIA PRZESTRZENI TRANSPORTU

ADVANCED SIMULATION METHODS IN SOLVING INTERDISCIPLINARY PROBLEMS OF PLANNING AND DESIGNING THE TRANSPORT SPACE

Streszczenie

Niniejszy artykuł prezentuje prowadzone w Zakładzie Kompozycji Urbanistycznej Instytutu Projektowania Urbanistycznego Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej badania naukowe dotyczące geometrycznych aspektów projektowania przestrzennego przebiegu drogi wspomagającego estetykę i czytelność przestrzeni. Dla rozwiązywania dynamicznych problemów ruchu drogowego i mobilności w planowaniu „serc miasta" proponuje się nowe podejście do wizualizacji w formie rzeczywistości wirtualnej oraz nowe narzędzia badawcze, jakimi są symulatory ruchu. Metody symulacji w rzeczywistości wirtualnej są obecnie najbardziej obiecującymi narzędziami do analizowania zależności pomiędzy projektowaną infrastrukturą drogową (drogi, ulice, ciągi piesze, ścieżki rowerowe i inne widoczne elementy infrastruktury drogowej), pojazdem i użytkownikiem drogi (kierowcą, pieszym). Celem artykułu jest zatem ukazanie ogromnych potencjalnych możliwości nowo powstającej nauki wizualizacji.

Słowa kluczowe: *metody symulacji, wizualizacja, przestrzeń wirtualna, ulice, ciągi komunikacji, bezpieczeństwo, estetyka*

Abstract

This paper presents the research studies conducted at the Institute of Urban Design at the Faculty of Architecture, Cracow University of Technology. This studies deals with geometric aspects of designing spatial road layout which enhance aesthetics and legibility of designed space. To solve problems of traffic and mobility in planning "hearts of the city", new approach to virtual reality visualization and new tool, namely driving simulator, are proposed. Virtual reality simulation is the most promising tool for analyzing the interaction between designed road infrastructure (street, road pavement, sidewalks, biking path, pedestrians walks, and all visible road architecture elements), vehicle and road user (driver). The discussion is concluded with emphasizing great potentials of the new emerging science of visualization, presenting the successive studies results.

Keywords: *simulation methods, visualization, virtual space, streets, city routs, safety, aesthetics*

* Drs Eng. Alessandro Calvi, Drs Eng. Fabrizio D'Amico, Department of Sciences of Civil Engineering, Roma TRE University, Rome, Italy.

** Dr inż. Lidia Żakowska, Zakład Geometrii Wykreślnej, Rysunku Technicznego i Grafiki Inżynierskiej, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Problemy mobilności i zagrożenia bezpieczeństwa ruchu są kluczowe w planowaniu i przeprojektowywaniu zatłoczonych miast. Istniejące drogi i ulice muszą być dostosowane do potrzeb wszystkich użytkowników, zgodnie z obecnymi przepisami i potrzebami, również pieszych i rowerzystów. Centrum miasta wymaga takiego projektowania, które uwzględni zarówno cele dostępności, mobilności i efektywności transportu, jak też ograniczenia wynikające z dbałości o bezpieczeństwo ruchu, estetykę, ochronę środowiska i in. Aby rozważać interdyscyplinarne problemy projektowania „serca miasta", potrzebne są interdyscyplinarne studia z nowym podejściem i metodami badawczymi.

Tradycyjne metody projektowania dróg i inżynierii bezpieczeństwa ruchu drogowego bazują na całym świecie na założeniach kinematyki i dynamiki. Podstawą zasad projektowania dróg [1] są siły odśrodkowe oddziaływujące na układ droga–pojazd na łukach i maksymalne siły tarcia nawierzchni dla obliczania odległości widoczności poszczególnych manewrów (zatrzymania, wyprzedzania itp.). To techniczne podejście dominowało dotychczas, pomimo iż wiele naukowych opracowań z dziedziny psychologii wskazuje na istotny wpływ czynników ludzkich w bezpieczeństwie dróg. Powinno to sugerować inżynierom, że zachowania kierowców należy rozważać głębiej i uwzględniać pełniej niż w uproszczonych tradycyjnie założeniach inżynierii drogowej.

Potrzebę interdyscyplinarnych studiów przy rozwiązywaniu problemów bezpieczeństwa na drogach podkreśla po raz kolejny w ostatnim czasie Carsten [2]. Na podstawie studiów zdarzeń drogowych zauważa on, że „aby utworzyć *ludzką inżynierię* wymagana jest prawdziwa integracja pomiędzy inżynierią i psychologią transportu".

Rozważanie problemów projektowych obejmujących czynniki ludzkie nie jest możliwe przy tradycyjnym podejściu inżynierskim. Rodzące się nowe technologie umożliwiają ocenę zależności pomiędzy kierowcą, pojazdem i środowiskiem drogi (ruchem, geometrią, nawierzchnią, czynnikami zewnętrznymi) przy podejściu interdyscyplinarnym. Interaktywne symulatory jazdy są zazwyczaj używane przez psychologów i producentów samochodów. Jednak od kilku lat symulatory jazdy stosowane są w badaniach dla poprawy efektywności studiów dotyczących bezpieczeństwa dróg w ujęciu interdyscyplinarnym.

2. Symulacja wirtualnej przestrzeni – podejście badawcze i metodologia

W nakierowanym na potrzeby użytkownika procesie projektowania przestrzeni urbanistycznej, a w szczególności bezpiecznej infrastruktury ciągów komunikacyjnych w zatłoczonej tkance „serca miasta" zagadnienia percepcji i zachowań użytkowników odgrywają zasadniczą rolę. Badania symulacyjne mogą być przydatne do sprawdzenia operacyjności projektowanej przestrzeni przed realizacją projektu, a więc na bazie przestrzeni wirtualnej. Takie podejście wymaga zbudowania trójwymiarowego modelu w przestrzeni wirtualnej oraz narzędzi symulacyjnych umożliwiających badanie percepcji użytkowników poruszających się w tej przestrzeni. Percepcja wzrokowa przestrzeni obejmuje postrzeganie i reakcje na obserwowaną sytuację przestrzenną, a więc trudne do modelowania zachowania użytkowników.

Metody symulacyjne towarzyszą często w ostatnich dziesięcioleciach tradycyjnemu podejściu teoretyczno-empirycznemu, przez co uważane są za standardowe metody powszechnie stosowane w wielu gałęziach nauki. O sukcesie technik symulacyjnych zadecydowały dwa czynniki [3]. Pierwszy z nich to dynamiczny rozwój technik komputerowych i urządzeń elektronicznych w kierunku prawie niewyobrażalnej wydajności i efektywności algorytmów obliczeniowych. Drugim jest świadomość, że procedury cyfrowe są znacznie tańsze od tradycyjnych studiów empirycznych i pozwalają na osiągnięcie poziomu uogólnienia niemożliwego do osiągnięcia w metodach doświadczalnych. Tradycyjne eksperymenty są w ramach swych założeń i ograniczeń badawczych wiarygodne, jednak podejście symulacyjne umożliwia wprowadzenie licznych zróżnicowanych założeń i warunków wstępnych, pozwalając na badania w szerszym zakresie.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Złożone pytania i problemy badawcze występują tam, gdzie czynniki ludzkie i niepewność związana z procesem podejmowania decyzji odgrywają istotną rolę. Czynniki ludzkie to szeroki zakres zmiennych, obejmujących m.in. emocje, zmęczenie, stres, które występują w interakcji z indywidualnymi uzdolnieniami i możliwościami. Istnieją zatem poważne problemy z symulowaniem percepcji i reakcji ludzkich. Modele teoretyczne, od psychologicznych przez ergonomiczne i poznawcze teorie, są przydatne do tworzenia symulacji algorytmów mechanizmu mózgu, jednak tylko interaktywne zaawansowane technologie stosowane w wirtualnym otoczeniu umożliwiają integrację czynników ludzkich w procesie symulacji. Proces podejmowania decyzji od percepcji po następujące zachowania jest uwarunkowany zewnętrznymi czynnikami, pochodzącymi z otaczającego środowiska. Dwa podstawowe cele uzasadniają stosowanie interaktywnych symulatorów jazdy: szansa rozważania ludzkich zachowań bez wpływu niekontrolowanych czynników oraz możliwość symulowania otoczenia w kontrolowanych i powtarzalnych warunkach, w rzeczywistym czasie, przy dużej liczbie danych eksperymentalnych i przy relatywnie niskich kosztach. Szczególną wartością dodaną tego podejścia badawczego jest – zdaniem Benedetto [3] – wysoki stopień wielodyscyplinarności.

3. Laboratorium symulatora jazdy – nowe technologie i wyzwania

Rozwój technik symulacyjnych, związany z tworzeniem coraz doskonalszych, coraz bardziej zbliżonych do rzeczywistości ruchomych obrazów drogi, to trwający nadal ewolucyjny proces zapoczątkowany już w końcu lat 70. Od lat 80. coraz szersze grona badaczy były zainteresowane prowadzeniem studiów percepcji i zachowań kierowców w symulowanym środowisku drogi, a więc w środowisku wirtualnym. Rzeczywistość wirtualna stała się celem poszukiwań naukowców zaangażowanych w tworzenie zintegrowanych systemów symulacji jazdy drogą w środowisku laboratoryjnym. Powodem tych poszukiwań był wzrost zainteresowań badaniami dotyczącymi bezpieczeństwa ruchu na zatłoczonych i niebezpiecznych drogach. Podejmowane liczne programy badawcze zmierzające do poprawy bezpieczeństwa drogowego uwzględniały coraz częściej zależności pomiędzy kierowcą, samochodem i drogą. Niedogodności i wysokie koszty eksperymentalnych badań terenowych doprowadziły do wypracowania symulacyjnych badań laboratoryjnych.

Pośród 44 instytucji naukowo-badawczych na całym świecie wyposażonych w symulatory jazdy 19 znajduje się w Europie (CRISS w Rzymie i nowy autoPW w Warszawie), 21 w Ameryce Północnej (17 w USA i 4 w Kanadzie), pozostałe 4 w Japonii, w Korei, Australii i Nowej Zelandii. Inne współpracujące laboratoria należą głównie do producentów samochodów i centrów szkolenia kierowców.

4. Analiza SWOT

Analiza mocnych i słabych punktów, możliwości i obaw (SWOT) zintegrowanych systemów symulatorów jazdy ukazuje wysoką wartość tego podejścia badawczego dla studiów interdyscyplinarnych.

Mocne strony (*Strength*):

1) powtarzalność każdej symulacji,
2) parametry geometrii otoczenia, ruchu i czynników zewnętrznych pod całkowitą kontrolą,
3) możliwość symulacji każdej sytuacji i zdarzenia drogowego (geometria, ruch),
4) mierzalność parametrów ruchu z dużą rozdzielczością (prędkość, przyspieszenia),
5) zachowanie kierowcy monitorowane i nagrywane w czasie rzeczywistym.

Słabe strony (*Weakness*):

1) względność danych wyjściowych,
2) brak standardowych protokołów,
3) duża liczba danych wyjściowych do opracowania.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Możliwości (*Opportunieties*):
1) wielodyscyplinarność,
2) standardy dla oceny wyników,
3) pewność narzędzi diagnostycznych.

Obawy (*Threats*):
1) dane wyjściowe wymagające uzgodnienia,
2) odchylone wyniki.

Zaawansowane nowoczesne symulatory pozwalają na uzyskanie realistycznych wrażeń jazdy w warunkach laboratoryjnych. Wyposażenie obejmuje zazwyczaj wysokiej jakości urządzenia hydrauliczne zintegrowane z symulowanym komputerowo generowanym obrazem, wywołując wrażenie pełnej dynamiki ruchu pojazdu (wibracji od nawierzchni drogi, przyspieszeń i opóźnień, sił odśrodkowych). System wizualny sprzężony z grafiką komputerową umożliwia uzyskanie obrazu wysokiej częstotliwości o minimalnych opóźnieniach, zbliżającego prezentację do rzeczywistości.

Obecne zastosowania symulatora obejmują szeroką gamę badań i studiów dotyczących: badań infrastruktury, systemu wzajemnych oddziaływań „droga–samochód–kierowca", projektowania dróg i tuneli, sterowania pojazdem, testowania urządzeń IVIS i ich ergonomii, psychologii transportu, analiz biomedycznych, patologicznych zachowań, wpływu alkoholu i leków na percepcję kierowcy, zachowań i reakcji kierowców w trudnych warunkach drogowych (oblodzonej nawierzchni, śniegu, mgły, deszczu), zachowań kierowców niepełnosprawnych, testowania prototypowych materiałów nawierzchni drogi i urządzeń drogowych czy edukacji i szkolenia kierowców.

5. Badania naukowe w symulatorze CRISS

5.1. Zakres badań

Zdobyte doświadczenia oraz wypracowane wyniki badań prowadzonych w laboratorium symulatora CRISS obejmują zakres trzech sektorów zainteresowań badawczych:
1. Walidacja (uprawomocnianie) symulacji [7, 10] (wielkość próby badawczej, procedury symulacyjne, choroba symulacyjna i zmęczenie, porównanie wyników badań terenowych z wynikami laboratoryjnymi w symulatorze, testowanie specyficznych sytuacji).
2. Badania teoretyczne [3, 4, 6, 7, 11] (zachowania kierowców, geometria drogi, podstawowe manewry w ruchu drogowym).
3. Audyt i ocena bezpieczeństwa ruchu na drogach [5, 8, 9, 13] (drogi istniejące i nowo projektowane, przyczyny wypadków, studia przed i po rekonstrukcji, samowyjaśniające się drogi SER).

Obecnie prowadzone są studia eksperymentalne w nowych dziedzinach, a ich wstępne wyniki potwierdzają zasadność stosowania symulatora do studiów percepcji i zachowań użytkowników na każdym z badanych obszarów, mianowicie:
1) analizy zachowań użytkowników w terenach zurbanizowanych,
2) wpływu otoczenia drogi na zachowania kierowców [12],
3) analizy zachowań w tunelach drogowych.

5.2. Krótki opis symulatora CRISS

Symulator włoskiego Interdyscyplinarnego Cenrtum Nukowo-Badawczego Bezpieczeństwa Ruchu, CRISS, znajduje się na terenie Wydziału Nauk Inżynierii Lądowej Rzymskiego Uniwersytetu TRE (il. 1). Składa się z czterech sieciowych komputerów i trzech współpracujących. Jeden generuje obrazy, dwa inne widok peryferyjny, a czwarty przetwarza równania ruchu. System sterowania pojazdem współpracuje z pedałami gazu, sprzęgła i hamulca, przekazującymi poprzez sensory optyczne informacje do sys-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

temu komputerów. Skrzynia biegów może być przełączana z automatycznej na manualną. Główne składowe oprogramowania to Vehicle Dynamics Model, Power/Drive Train oraz STIREMOD. Pierwszy jest bazą symulacji i modeluje składowe dynamiczne z sześcioma poziomami swobody, transponując ruch na siły obrotowe osi. System Power/Drive Train obsługuje silnik i moduły transmisyjne do osi jazdy. System STIREMOD jest modelem opon zaprojektowanym dla wszystkich rodzajów nawierzchni, wytwarzającym siły przyczepności i tarcia dla pełnego zakresu współczynników tarcia nawierzchni.

Symulator zainstalowany jest wewnątrz samochodu osobowego dla zwiększenia wrażenia rzeczywistej jazdy podczas eksperymentów. Wirtualny obraz otoczenia jest prezentowany na trzech ekranach, dających pole widzenia kierowcy w zakresie kąta poziomego 135°. Głośniki zainstalowane w miejscu silnika uzupełniają środowisko jazdy o wrażenia akustyczne. Dodatkowe oświetlenie zewnętrzne i sygnały akustyczne mogą wspomagać wirtualne otoczenie jazdy.

5.3. Projektowanie eksperymenalnych badań w CRISS

Wyniki dotychczasowych badań prowadzonych w CRISS [1–3, 11] potwierdzają przydatność podejścia badawczego bazującego na symulatorach do analizowania różnych pojedynczych zmiennych, w różnorodny sposób wpływających na bezpieczeństwo dróg. To podejście uwzględnia też czynniki ludzkie. W tym kontekście istotne jest generowanie środowiska wirtualnego bliskiego do rzeczywistości.

Proces projektowania eksperymentu obejmuje cztery istotne kroki: (1) kalibrację i sprawdzenie systemu i oprogramowania, (2) zdefiniowanie eksperymentalnych założeń, (3) zdefiniowanie protokołów pomiarowych oraz (4) wybranie najwłaściwszych wskaźników. Ponadto każdy kierowca otrzymuje bazę danych charakteryzujących, jak wiek, płeć, doświadczenie itp. Identyfikuje się też fazę nieskażonych wyników procesem uczenia. Badania ujawniły trzy fazy jazdy w warunkach symulatora: wstępną fazę uczenia się i przystosowania do warunków symulacji, środkową przydatną do badań i trzecią fazę zmęczenia, gdy zachowanie kierowcy obarczone jest błędami.

Definiowanie protokołów pomiarowych obejmuje cztery zasadnicze aspekty: (a) konfigurację trasy przejazdu, kompozycję ścieżki w aspekcie zachowań kierowców, (b) wybór kierowców jako reprezentatywnej grupy dla badań, (c) dobór uwarunkowań eksperymentalnych i stosownych danych oraz (d) liczby symulacji niezbędnej dla statystycznej istotności eksperymentu.

Trzy kategorie wskaźników wymagają zazwyczaj określenia: *statutowe*, określające, jakie wyposażenie angażujemy do badań; *lokalne*, testowane i korelowane (czas symulacji, długość przejazdu, trajektoria itp.) *warunków jazdy*, obejmujące prędkości przejazdu i obrotów kół. Wszystkie wskaźniki są nagrywane w czasie symulacji.

5.4. Obecny polsko-włoski projekt badawczy

Prowadzone przez autorkę badania naukowe dotyczące geometrycznych aspektów projektowania przestrzennego przebiegu drogi wspomagającego estetykę obrazu drogi i bezpieczeństwo jazdy (PB-2078/T02/2007/33) obejmują eksperymentalne studia percepcji kierowców w symulatorze CRISS. Zaprojektowany eksperyment badawczy ma na celu zbadanie zależności pomiędzy geometrycznymi parametrami dróg (szerokość i liczba pasów ruchu, krzywizny łuków, krzywe przejściowe itp.) i ich otoczenia (związane z widocznością) a przyjmowaną prędkością jazdy warunkującą bezpieczeństwo. Badania zmierzają do wypracowania zasad projektowania bezpiecznych, samowyjaśniających się [13] krzywizn łuków poziomych. Poszukiwane są też zależności pomiędzy estetyką dróg a percepcją drogi i prędkością jazdy.

Wirtualną przestrzeń dróg utworzono w laboratorium CRISS na podstawie obrazów polskich dróg i charakterystyk ich otoczenia (il. 7). Hipotezy i cele studiów opracowano w Polsce. Metoda badań eksperymentalnych zbudowana została przez zespół polsko-włoski, współpracujący przy badaniach pilotażowych oraz podczas zasadniczych badań w laboratorium CRISS. Obecnie prowadzone są analizy wyni-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

ków i poszukiwanie zależności pomiędzy zmiennymi eksperymentalnymi a percepcją i reakcją kierowców podczas jazdy.

Projekt jest finansowany przez MNiSW w ramach 33 konkursu na granty naukowo-badawcze (Umowa z dnia 2.11.2007, PB Nr 2078/T02/2007/33) w latach 2007/2008.

6. Zastosowania badań symulacyjnych w obszarach miejskich

Międzynarodowe studia wskazują na prawie nieograniczoną przydatność symulacji do badań interdyscyplinarnych. Jako otwarty proces symulacja może być włączona w eksperymentalne poszukiwania rozwiązań, które innymi metodami nie mogą być osiągnięte. Projekty urbanistyczne skierowane na ludzkie potrzeby, estetyka architektury dróg i ulic wraz z wizualnym otoczeniem, mogą być badane i weryfikowane pod względem bezpieczeństwa, przewidywanych potrzeb użytkowników i wielu innych czynników. Symulacja może się stać standardowym narzędziem nowoczesnego planowania urbanistycznego przydatnym w rozwiązywaniu problemów mobilności w „sercach miast" europejskich!!!

Ponadto należy podkreślić, jak niebezpieczne są błędne zachowania kierowców w czasie jazdy w każdym centrum miasta, a zatem jak istotną rolę odegrać może symulacja jazdy jako najpewniejsza metoda badawcza operacyjności zaprojektowanej przestrzeni urbanistycznej.

Najbardziej obiecujące zastosowania symulacji przewiduje się w dziedzinie urbanistyki dla:
- analiz bezpiecznych zachowań kierowców w obszarach miejskich,
- percepcji na przejściach dla pieszych,
- reakcji na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną,
- miejsc parkingowych i przestrzeni publicznych w ich otoczeniu,
- czytelności informacji drogowej i oceny estetyki,
- estetyki wnętrz ulic i otaczającej architektury.

7. Wnioski końcowe

Symulator jazdy jest bardzo przydatnym narzędziem wspomagającym proces projektowania przestrzeni nakierowany na percepcję i potrzeby użytkownika. Ma wiele mocnych stron i niewiele słabych, co wykazała analiza SWOT. Symulator wydaje się być najbardziej obiecującym narzędziem dla rozwiązywania wielodyscyplinarnych problemów mobilności w procesie planowania urbanistycznego centrów o dużym natężeniu ruchu. Głównymi zaletami badań symulacyjnych w wirtualnej przestrzeni są:
- nieograniczona powtarzalność symulacji,
- pełna kontrola parametrów i zmiennych badawczych (geometrii drogi, ruchu i czynników zewnętrznych),
- mierzalność parametrów ruchu z dużą rozdzielczością (prędkość, przyspieszenia),
- zachowanie kierowcy monitorowane i nagrywane w czasie rzeczywistym.

Zintegrowane systemy symulacji jazdy są nadal rozwijane i doskonalone. Rzeczywistość wirtualna wydaje się nie tylko możliwa do osiągnięcia w najbliższej przyszłości, ale też powszechnie stosowana jako narzędzie pracy projektanta przestrzeni dbającego o jakość życia, bezpieczeństwo i wygodę przyszłych użytkowników tworzonego dzieła inżynierskiego. Może być użytecznym narzędziem projektanta świadomego istoty aspektów kulturowych, środowiskowych i estetycznych kreowanej przestrzeni i obiektów w „sercach" naszych miast. „Serce miasta" jest elementem świadomego kształtowania środowiska. Najpierw my kształtujemy nasze środowisko, potem ono kształtuje nas.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Introduction

Problems of mobility and unsafe road traffic are essential in today's planning and redesigning of dense city centers. Existing roads and streets have to be adapted to all user's needs, according to modern standards and requirements of pedestrians and cyclists. City centers need such a design that takes into account all objectives of accessibility, mobility, transport efficiency, but also traffic safety, aesthetics, air pollution and others. Interdisciplinary studies with modern approach and research methods are searched to solve multidisciplinary problems of the hearts of cities.

All over the world road engineering is traditionally based on kinetic and dynamical approach. The design rules of roads [1] are generally referred to forces' equilibrium on the curves and maximum available pavement friction for the calculation of the sight distances for any maneuver (stopping, passing, etc.). This technical framework has been dominating until now notwithstanding many scientific contribution from psychological researchers found out that road safety is a question crucially affected by human factors. This should suggest to engineers that driver behavior has to be considered more in depth than the simplified traditional assumptions of road engineering.

Recently Carsten [2] has well emphasized once more the need for an interdisciplinary study of safety problems. Starting from study cases, he has noticed that "what is required is true integration between engineering and traffic psychology to create human engineering".

Traditionally, similar questions affected by human factors cannot be investigated. Emerging technologies make it possible to evaluate the interaction among driver, vehicle and road environment (traffic, geometry, pavement, external conditions) through an interdisciplinary approach. Interactive driving simulators are generally used by psychologists and car manufacturers. Since some years simulators have been also used to improve the effectiveness of road safety studies under an interdisciplinary perspective.

2. The virtual reality simulation – research approach, metodology

In "user oriented" urban space design process, especially in safe road infrastructure design inside dense city centers, the aspects of user's perception and behavior play significant role. Simulation studies can be useful for testing operation of the designed space before the project realization, based on virtual space. This research approach requires construction of three-dimensional model of virtual space and also simulation tools to test perception of users that will move around. Visual perception of space covers observation and reactions to the observed spatial situation, which are a difficult issues for modeling.

Numeric simulation came up often by the side of theoretical-empirical traditional approaches in last decades, and currently it is considered a standardized method commonly and widely adopted in many branches of scientific applications. Basically two reasons made the success [3] of this technique. First of all the evolution of computers and electronic tools towards unimaginable frontiers as the progress of computational algorithms to great efficiency and effectiveness. Secondly the consciousness that numeric procedures are essentially cheaper rather than traditional empirical studies and it can reach a level of generalization that is not possible through consolidated experimental methods. Although traditional experiments are generally reliable respecting the experimental conditions and boundaries, the simulation approach makes it possible to emulate numerous different conditions and a wider domain can be investigated.

The question is really complex for all the processes where human factors and the uncertainties connected to decision making processes play a significant role. Human factors are a range of different variables that include such things as fatigue and fitness, emotion, stress, distraction, etc. They interact with individual competence to produce his or her momentary capability.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

The difficulties to simulate human perceptions and reactions are crucial. Theoretical models from psychological, ergonomic and cognitive theories are useful to develop the algorithms for the simulation of brain mechanisms, but only interactive advanced technologies such as in a virtual reality environment make it possible the integration of human factors in simulation processes. Driving is a typical action in which human perception and reaction mechanisms have a great impact. The process of decision making from a perception and the consequent actions are influenced by internal factors, coming from driver's condition, and external factors, coming from road environment. Two main objectives stimulate to the use of interactive driving simulators. The chance to consider correctly and in an unbiased way the human behaviour and the possibility to simulate under controlled and repeatable conditions, monitoring on real time, an enormous amount of experiments at relatively low costs. Finally, according to Benedetto et all [4], one of the most relevant added value of this approach is the high level of multidisciplinarity.

3. Driving simulation laboratory – emerging technology and challenges

Simulation techniques development, leading to more excellent and real-like scene construction virtual dynamic road scene, is an evolutionary process that started already in late 70s of 20th century. Since late 80s researchers were interested in studies in virtual reality environment. Simulation became a search goal of scientists looking for inter-relation between road, driver and car to solve traffic safety problems. The reason for those investigations was a growth of research interest in traffic safety problems on dense highways. Numerous research programs involved inter-relations of the system *driver–road––vehicle.* High costs of field studies were another factor which caused development of laboratory simulation research.

Among 44 research institutions equipped in driving simulators in the world today, 19 are in Europe, 21 in North America, and 4 in Asia, Australia and New Zealand. Some other corporate labs belong to car manufactures and to drivers' training organizations.

4. SWOT analysis

The analysis of points of Strength, points of Weakness, Opportunities and Threats of Virtual Reality Simulation (SWOT) clearly demonstrates the great value of this approach for interdisciplinary studies:

Points of Strength:
1) each simulation can be exactly repeated,
2) geometry of road, traffic and external conditions are completely under control,
3) any possible situations can be simulated (geometry, traffic flow, etc.),
4) vehicles' instantaneous position, speeds and accelerations sampled with high resolution,
5) human behavior monitored and recorded in real time during simulation execution.

Points of Weakness:
1) reliability of outcomes,
2) enormous amount of outcomes to be validated and post-processed,

Opportunities:
1) multidisciplinary approach,
2) standard for assessment,
3) reliable diagnostic tool.

Threats:
1) not validated outcomes,
2) biased results.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Advanced Driving Simulators present realistic driving experience in laboratory conditions. High quality equipment inbuilt in the driving system (a vehicle on a fixed or hydraulic base) is connected to computer graphic system, presenting a real-like virtual view in a real time. Driving simulators applications cover a wide range of research and studies in such a fields as:

– driving psychology (risk perception, anomalous behaviour, fatigue),
– road infrastructures (design – geometry and standards, road safety, environmental conditions),
– road operations management (influence of different traffic flows under different driving conditions, work zones safety),
– biomedical analysis (driving pathology, effect of alcohol and drugs on driving, drowsiness, emotion, stress, distraction),
– vehicle construction (performances, driver assistance),
– training (professional drivers, driving license, driving education).

5. Research at CRISS simulator

5.1. Research sectors

The consolidated experiences and results that have been developed in CRISS simulation laboratory cover three main sector of works and researches:

1. Validation of simulation [7, 10] (dimension of drivers sample, procedure of simulation, simulation fatigue and sickness, comparison between survey on site of existing roads and the outcome of simulation of the same roads, validation of simulation in specific situation as under work zones, tunneling).
2. Theoretical investigation [3, 4, 6, 7, 11] (driver behavior, road geometry, elementary maneuvers).
3. Road safety audit or assessment [5, 8, 9, 13] (new project and existing road, accident causes, before and after simulations, self-explaining road).

Actually many scientific activities at CRISS simulation laboratory are in progress. No final outcome is available, but the first results confirm the applicability of virtual reality simulation in every fields to study different road users behaviour.

In the specific the main researches currently in progress are:

1. The analysis of road users behaviour in urban area.
2. The effect of road environment on driver's behaviour [12].
3. The influence of road tunnel in driver's behaviour.

5.2. Brief description of CRISS simulator

The driving simulator of the Italian Interuniversity Research Centre of Road Safety, CRISS, is located in Rome at Roma Tre University in the Department of Sciences of Civil Engineering (Ill. 1).

The hardware is composed by four networked computers and three hardware interfaces. One computer generates the images, two computers provide the driver with the lateral view and another one processes the motion equations. The steering system provides wheel steer angle to the steering axle tire model and steering wheel torque commands for steering torque cueing. The pedals are brake, clutch and accelerator. Each pedal is controlled by an optical sensor, which feeds back the exact position of it to the software. The automatic gear is inserted in a box, where the sensors, connected to the software, are located. It is possible, by software, to turn it to manual gear.

The main parts of the software are the Vehicle Dynamics Model, the Power/Drive Train and the STIREMOD. The first one is the core of the simulator and it models the inertial component of lateral and longitudinal dynamics as a six degree of freedom sprung mass connected by springs and dumpers to axels that provide tire forces. The Power/Drive Train includes engine and transmission modules that deliver

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

torque to the drive axles. The engine model provides torque as a function of throttle angle, RPM and load. The STIREMOD is a tire model designed for the full range of operating conditions under both on- and off-road surface conditions. The operating conditions include longitudinal and lateral slip, camber angle and normal load. The model produces tire forces throughout the adhesion range up through peak coefficient of friction, and throughout the saturation region to limit slide coefficient of friction. This model allows changing the saturation function depending on the surface currently encountered by a given tire in the vehicle dynamics model.

Finally the simulator is installed inside a real vehicle to have the best feeling of reality during the experiments. The driving environment is projected onto three forward screens giving a 135° horizontal forward field of view. The sound speakers are inserted inside the engine to emulate the acoustic environment at the best. Some external lights and acoustic signals can be controlled during the simulation to simulate hard brain load driving conditions.

5.3. Experimental design of studies at CRISS

Driving simulation based approach seems to be very promising to consider once in a time all the different variables that play different roles in the road safety processes, which is well documented in CRISS studies results [1–3, 11]. This approach takes into account also the human factors. In this context it is crucially needed to virtually generate an environment next to the reality. In this experimental process four steps are of special importance: (1) hardware and software calibration and validation for the experimental analysis, (2) definition of the experimental domains, (3) definition of the measurement protocols for a reliable experimental response and (4) selection of the best indicators. In the first step each driver has to be characterized: general data, such has gender and age, specific data, such as driving experience. Moreover the not biased phase of the simulation has to be identified. In fact the experiments put in light that three phases are present: a first phase of training, during which the driver learns how the simulation works, a second reliable phase and a third phase of fatigue, during which the driver behavior is affected by errors.

About the definition of the measurement protocols for a reliable experimental response, four aspects have to be considered as very important: (a) the route configuration, that has to consider special geometries, the composition of the path and the impact on the human behavior, (b) the drivers selection, in order to have a proper and significant sample of the real drivers, considering the specific field of the experiment, (c) the choice of the condition of the simulation and the selection of the acquirable data, (d) the number of the simulations for the stochastic significance of the experiment.

Finally, three categories of indicators are usefully identified: status indicators, that show if some driving equipments are on or off (lights, direction indicators, horn, etc.); local indicators, that are sampled in time and that can be correlated (time of simulation, driven length, longitudinal and transversal acceleration, position, trajectory curvature, etc.); driving conditions indicators, that are sampled in time (longitudinal speed, transversal speed, speed of turning the wheel, etc.). All the indicators can be recorded during the simulation.

5.4. Current Polish-Italian project

The research project being conducted by the author in the Institute of Urban Design at the Faculty of Architecture, Cracow University of Technology, deals with geometrical aspects of spatial road design that enhance road aesthetics and safety (PB-2078/T02/2007/33) and covers experimental studies of driver's perception, using CRISS simulator. Experimental research goal is to test and to evaluate the effect of geometric road parameters (width and number of driving lanes, curvatures, transition curves, etc.) and road environment characteristics (visibility related) on drivers behavior expressed in example by the speed adopted which is related to driving safety. Research focuses on road curves design rules elaboration

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

which would support safety, according to Self Explaining Roads (SER) concept [13]. Relations between road aesthetics, driver's perception of road environment and road safety are also investigated.

The virtual road view has been created at CRISS laboratory, based on polish road views and road environment characteristics (Ill. 7). Research hypothesis and goals were elaborated in Poland [12]. The experimental design details has been built in close co-operation by both polish and italian researchers, also working together during pilot studies and the main experimental works at CRISS laboratory. Analysis of results is being processed now, together with evaluation of significant relations between experimental variables and driver's perception and reactions.

This study is sponsored by the Polish Ministry of Science and Higher Education, MNiSW, in frame of the research grant project (Umowa z dnia 2.11.2007, PB Nr 2078/T02/2007/33) in years 2007/2008.

6. Urban area potential applications

International studies presented demonstrate that this approach is available for multidisciplinary studies without borders. As an open process it may serve experimental solutions, difficult or impossible to be validated in another way. Human oriented design, aesthetics of road and street architecture together with all built environment may be tested against safety, predicted potential user's needs, and much more. It may be a standard tool in modern urban planning, for solving problems of citizens mobility in the hearts of cities in Europe!!!!

Additionally it is important to emphasize that the false driver behavior can be dangerous to all in "the heart of the city", and driving simulation is the only tool and best research method to test the operation of good design.

The most promising application of simulation is expected in urban space studies in:

– analyses of road users behaviors in urban area,
– pedestrian crossings,
– traffic lights,
– parking spaces,
– information legibility and aesthetics evaluation,
– road and road architecture aesthetics.

7. Conclusions

Driving simulator is a very useful tool in human related spatial design processes. It has many points of strength and very few points of weakness. It seems to be the most promising tool for multidisciplinary problems solving in urban planning with dense traffic.

The main **points of strength** of the approach in Virtual Reality are:

– each simulation can be exactly repeated,
– geometry of road, traffic and external conditions are completely under control,
– any possible situations can be simulated (geometry, traffic flow, etc.),
– vehicles' instantaneous position, speeds and accelerations can be sampled with high resolution,
– human behavior can be monitored and recorded in real time during simulation execution.

Integrated simulation systems are still developed and upgraded. Virtual reality in full seems not only possible in the nearest future, but also commonly used as a tool of designer who is aware of life quality, safety and comfort of actually designed space future users. It can be a useful tool for all designers who are aware of cultural, environmental and aesthetical values of created human space and objects of "the hearts of cities". "The heart of the town" is an element of conscious creation of environment.

First we create our life-space, than this space creates us!

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Bibliografia – Bibliography

[1] Benedetto A., Calvi A., D'Amico F., *Approach based on interactive simulation for design of main rural roads*, Proceedings of Third Gulf Conference on Road TGCR06Muscat, Oman 2006.

[2] Carsten O., *Multiple perspectives*, [in:] *Human Factors for Highway Engineers*, Edited by Fuller & Santos, Pergamon, Elsevier Sciences, 11-22, 2002.

[3] Benedetto A., *Editorial. Advances in Transportation Studies*, 2004, 3-4.

[4] Benedetto A., De Angelini A., Di Renzo D., Guerrieri F., Markham S., *About the standards of a driving simulation for road engineering: a new approach*, Proc. VII Intern. Conf. on Application of Advanced Technology in Transportation (ASCE) Cambridge Mass., USA 2002.

[5] Benedetto A., Calvi A., D'Amico F., De Blasiis M.R., *Advanced and effective indicator for road risk assessment*, Proc. International Conference Road Safety in 4 Continents RS4C, Warsaw 2005.

[6] Benedetto C., *Il progetto della strada sicura. La ricerca sperimentale in realtà virtuale. (Project of the road safety. The experimental research in virtual reality)*, Aracne Ed., Rome, Italy 2002.

[7] Benedetto C., De Blasiis M.R., Benedetto A., *A driving simulator based integrated approach for road geometry validation: an assessment of the road safety standards*, Proc. VII Intern. Conf. on Application of Advanced Technology in Transportation (ASCE), Cambridge, Mass., USA 2002.

[8] Benedetto C., De Blasiis M.R., Benedetto A., *Driving simulation based approach for quality control of road projects*, Advances in Transportation Studies I(B), 2003, 86-96.

[9] Calvi A., D'Amico F., *Quality control of road project: identification and validation of a safety indicator*, Advances in transportation studies IX(A), 2006, 47-66.

[10] Bella F., *Driving simulation in virtual reality for work zone design on highway: a validation study*, II International Congress SIIV 2004, New technologies and modeling tools for roads, Firenze, 2004.

[11] Bella F., Marchini G., *Rilievi di velocità e traiettorie dei veicoli in avvicinamento a un cantiere stradale*, Strade & Autostrade, 47, 2004, 184-195.

[12] Żakowska L., *Wizualizacja w projektowaniu dróg – aspekty bezpieczeństwa i estetyki*, Zeszyty Naukowe PK, Monografia nr 44, Seria Architektura, Kraków 2001.

[13] Żakowska L., Carsten O., Jamson H., *Driver's perception of self explaining road infrastructure and architecture – simulation study*, Traffic and Transportation Psychology, Theory and Application, G. Underwood Edt., Elsevier Ltd., 2005, 397-405.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Il. 1–7. Wnętrze symulatora CRISS (1) oraz przykłady obrazów stosowanych w badaniach eksperymentalnych (2–7)

Ill. 1–7. CRISS driving simulator view (1) and examples of virtual scenes used in simulation experiments (2–7)

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ