

PAWLUS Damian¹
 TARNOWSKI Adam²
 LEWKOWICZ Rafał³
 KAMIŃSKI Tomasz⁴
 KRUSZEWSKI Mikołaj⁵

Innowacyjny zestaw metod i narzędzi do analizy infrastruktury drogowej w aspekcie poprawy bezpieczeństwa

WSTĘP

Obecnie stosowane metody oceny i audytu BRD uwzględniają wyłącznie wiedzę ekspercką audytora, jego doświadczenie i spostrzegawczość. Brak jest obiektywnych metod i narzędzi do ich przeprowadzania. Projekt EYEVID ma na celu opracowanie metod i narzędzi do usystematyzowanego i zobiektywizowanego badania elementów infrastruktury drogowej w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego (BRD). W projekcie przewidziano badania sprawdzające poprawność opracowanych narzędzi, w których zbadany zostanie wpływ czynników wizualnych na kierowcę podczas prowadzenia pojazdu. W założeniach projektu przyjęto podział elementów infrastruktury drogowej za względu istotności danego elementu na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Do elementów istotnych należą między innymi znaki drogowe i urządzenia BRD. Tymczasem elementy powodujące odwracanie uwagi kierowcy od elementów istotnych ze względu na prowadzenie pojazdu określane jest jako dystraktory.

Opracowywane w ramach projektu narzędzia mają za zadanie określić, który z dwóch przypadków wpływu infrastruktury i otoczenia drogi na możliwość obserwacji elementów infrastruktury drogowej istotnych ze względu na bezpieczeństwo ruchu drogowego występuje w danym przypadku. W pierwszym przypadku element ważny ze względu na BRD jest w polu widzenia kierowcy, ale nie jest przez niego dostrzegany. Powodem tego mogą być różnorodne czynniki takie jak niewłaściwe umiejscowienie elementu, nagromadzenie dystraktorów w polu widzenia kierowcy, funkcje uwagowe samego kierowcy. Natomiast w drugim przypadku element nie znajduje się w polu widzenia kierowcy. Wynika to najczęściej z niewłaściwego umiejscowienia elementów BRD, bądź nieprawidłowego umiejscowienia pozostałych elementów otoczenia, ale może być także spowodowane potencjalnym zasłonięciem elementu, wynikającym nie z budowy drogi i otoczenia, ale zachowania innych uczestników ruchu np. parkujących pojazdów.

Projekt jest dedykowany ściślemu gronu odbiorców (inwestorzy sieci drogowej, audytorzy, jednostki samorządowe) i jest wykonywany przy ścisłej współpracy z tymi podmiotami. W ten sposób efekty realizacji projektu będą dostosowane do potrzeb użytkowników.

1 STANOWISKO DO KWALIFIKACJI KRYTYCZNYCH ODCINKÓW DROGI

Stanowisko do kwalifikacji krytycznych odcinków drogi realizowane jest jako oprogramowanie wykorzystujące metodę tzw. map uwagi do wstępnej oceny stanu bezpieczeństwa, przy użyciu zaawansowanych algorytmów obróbki obrazu video. System kamer, w który wyposażony jest pojazd testowy, dostarcza obraz do analizy. Obraz rejestrowany jest w wysokiej rozdzielczości (HD 720p) oraz jest odpowiednio synchronizowany i dopasowywany, w taki sposób by uzyskać panoramiczne ujęcie całego obszaru istotnego dla kierowcy obrazu drogi. W czasie badania oprócz obrazu mierzy i rejestruje się również inne parametry związane z ruchem pojazdu takie jak: prędkość, przebyta trasa,

¹ ODIUT Automex Sp. z o.o.; 80-557 Gdańsk; ul. Marynarki Polskiej 55d. Tel: + 48 58 522-06-20, damian.pawlus@automex.eu

² Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej; 01-755 Warszawa; ul. Krasińskiego 54/56. Tel. +48 22 685 26 76, tarnowski@wiml.waw.pl

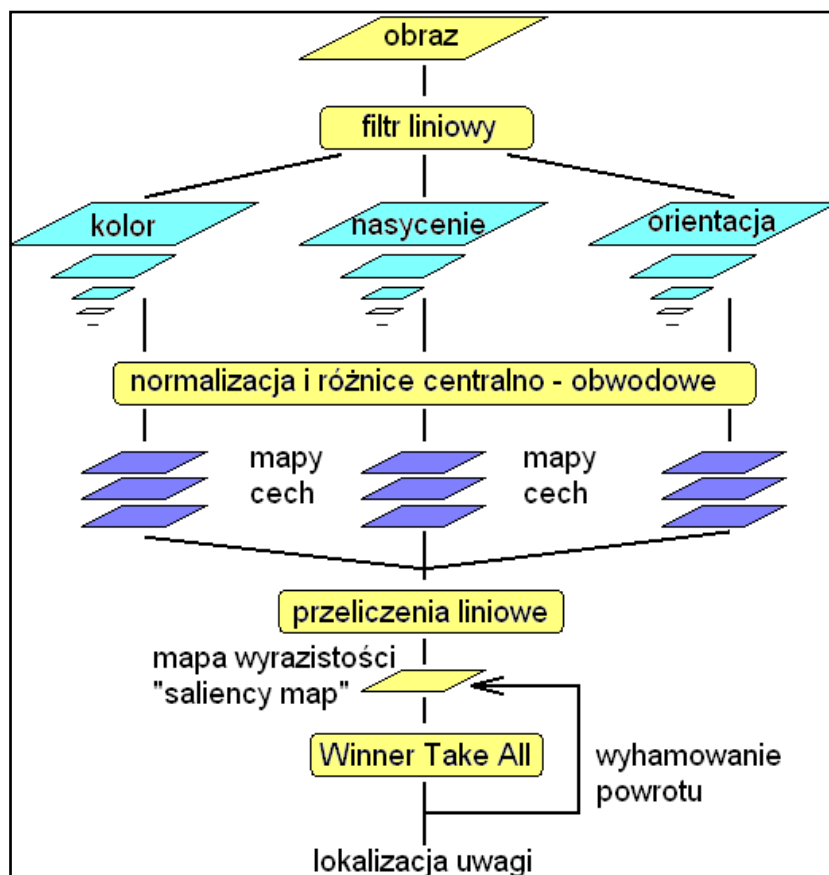
³ Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej; 01-755 Warszawa; ul. Krasińskiego 54/56. Tel. +48 22 685 22 73, rlewkowicz@wiml.waw.pl

⁴ Instytut Transportu Samochodowego, Centrum Zarządzania i Telematyki Transportu; 03-301 Warszawa; ul. Jagiellońska 80. Tel: +48 22 43-85-129, tomasz.kaminski@its.waw.pl

⁵ Instytut Transportu Samochodowego, Centrum Zarządzania i Telematyki Transportu; 03-301 Warszawa; ul. Jagiellońska 80. Tel: +48 22 43-85-536, mikolaj.kruszewski@its.waw.pl

użycie pedałów przyspieszenia i hamulca, kąt skrętu kierownicy, przechył nadwozia, włączenie kierunkowskazów itp.), które wykorzystywane są później do wiernego odwzorowania przebiegu drogi w programie.

Analiza na stanowisku składa się z dwóch etapów. W pierwszym, z obrazu przebiegu drogi wyszczególnione są istotne elementy infrastruktury i otoczenia drogi, takie jak znaki i sygnalizacja drogowa, reklamy, elementy pobocza drogi (np. roślinność, budynki i płoty, ekrany dźwiękochłonne). Automatyczna detekcja tych elementów następuje poprzez wykorzystanie automatycznej, poklatkowej obróbki obrazu wykorzystującej elementy sieci neuronowych. Wyszczególnionym istotnym elementom drogi i jej otoczenia przypisywane są znaczniki ich pozycji w przebiegu drogi. Elementy niestandardowe, niezdefiniowane w bibliotekach programu, można dodać również na etapie przetwarzania. Gdy dany element jest często wykorzystywany istnieje możliwość dodania jego wzorca identyfikacyjnego do bibliotek programu. Tak uzyskana baza elementów stanowi zbiór obszarów AOI (Area of Interest), który w drugim etapie analizy zostanie poddanych przetwarzaniu za pomocą programu komputerowego, wykorzystującego mechanizm map uwagi kierowcy. Mapy uwagi są metodą stosowaną zarówno w badaniach rynkowych produktów, jak również (podobnie jak w projekcie) do wskazania elementów utrzymujących długie fiksacje wzroku kierowcy. W oparciu o rozkład elementów widocznych na analizowanym obrazie oraz ich cechy opracowywany program obiektywnie określa jak bardzo złożoną scenę kierowca zmuszony jest analizować na danym odcinku drogi.

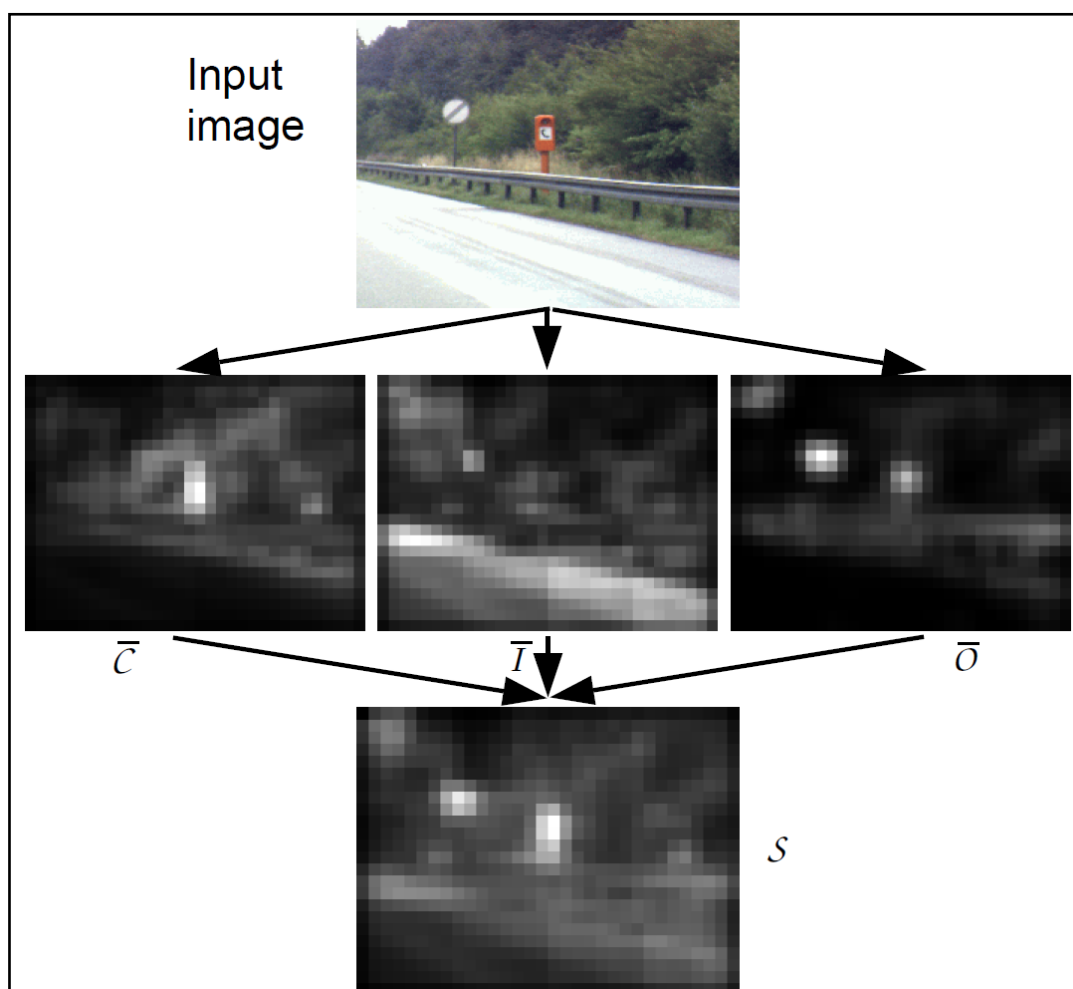


Rys. 1. Schemat algorytmu wyznaczania wyrazistości obiektów [10]

Proponowane rozwiązanie uwzględnia teorię zaproponowaną przez Laurenta Ittiego [10]. Zgodnie z tą teorią analizowane są trzy cechy elementów obrazu: kolor, jasność i orientacja linii. Dla każdej z cech tworzona jest oddzielna „mapa akcentów”, po czym przy pomocy równań liniowych wyznaczana jest wyrazistość obiektów w polu widzenia.

Podczas analizy obrazu klatka po klatce dla każdego elementu obliczane jest prawdopodobieństwo skupienia na nim uwagi, po czym dane te są korelowane z syntetycznymi wskaźnikami istotności

elementu ze względu na BRD. Elementy istotne takie jak znaki skutkują pozytywnymi ocenami programu, natomiast elementy nieistotne np.: reklamy przy drodze negatywnymi. Istotną zaletą map uwagi jest to, że odwzorowują także rozkład elementów skupiających i rozpraszających uwagę kierowcy, na podstawie którego można dokonać analizy ograniczonego postrzegania spowodowanego usytuowaniem elementu. Po zsynchronizowaniu tych danych z danymi charakterystyki przejazdu samochodu można określić w jakiej odległości obiekt zaczyna być w zasięgu wzroku, a z jakiej zaczyna dominować w polu widzenia. Powyższa funkcjonalność umożliwia również określenie, które elementy są całkowicie pomijane przez kierowcę, a które są niezwykle trudne do zauważenia ze względu na np. zasłaniające je inne elementy lub sąsiadujące obiekty o nadmiernej wyrazistości. Wykorzystywany algorytm analizy obrazu jest w stanie zidentyfikować odcinki drogi, które charakteryzują się na tyle dużym nagromadzeniem bodźców wizualnych, może to zakłócić percepcję kierowcy, stwarzając zagrożenie dla ruchu drogowego.



Rys. 2. Przykład działania algorytmu (w drugim rzędzie przedstawione mapy akcentów dla odpowiednio: \bar{C} - koloru, \bar{I} - jasności, i \bar{O} - orientacji. S - mapa wyrazistości) [10]

Czas potrzebny do wykonania analizy uległ znacznemu skróceniu dzięki automatyzacji procesu wyszukiwania potencjalnie niebezpiecznych miejsc, co dodatkowo zapewnia obiektywny charakter narzędzia. Wskazane w wyniku analizy odcinki drogi kierowane są do dokładnej analizy z wykorzystaniem stanowiska do badań szczegółowych.

2 STANOWISKO DO OKULOGRAFICZNYCH BADAŃ BRD W RZECZYWISTYM RUCHU DROGOWYM

Proponowane w projekcie rozwiązanie zakłada położenie nacisku na badanie percepcji wzrokowej kierowców, stąd niezbędne było wykorzystanie narzędzi okulograficznych do szczegółowego badania krytycznych odcinków drogi. Stanowisko wyposażone zostało w mobilny okulograf dostosowany do badań w warunkach ruchu drogowego. Analiza możliwości urządzeń dostępnych na rynku wykazała, że wykorzystanie systemów nie wymagających kontaktu urządzenia z osobą badaną nie zapewnia pożądanej dokładności pomiaru z powodu niedoskonałości algorytmów detekcji ruchu głowy.



Rys. 3. SMI EyeTracking Glasses [15]

Wybrany urządzeniem jest okulograf mobilny – SMI EyeTracking Glasses (Rysunek 3.), posiadający wystarczającą dokładność (rozdzielczość kąтова do $0,5^\circ$) i częstotliwość (30 Hz), niezbędne mechanizmy (automatyczna korekcja błędu paralaksy, kalibracja „post factum” itp.) i nie ograniczające badań parametry (urządzenie wbudowane w okularach o wadze 75g), które są wymagane dla potrzeb proponowanego rozwiązania. Oprogramowanie dostarczane przez producenta umożliwia w znacznym stopniu zautomatyzować obróbkę obrazu wideo oraz na obliczenie statystycznych wyników badanej próby osób. W trakcie badania najważniejszym mierzonym parametrem są fiksacje, określające czas trwania stanu skupienia wzroku na określonym obszarze. Przyjmuje się, że fiksacja jest w przybliżeniu miarą skupienia, przez badaną osobę, uwagi na obserwowanym obiekcie. Miarą fiksacji jest czas obserwacji tego obiektu. Stanowisko wyposażone jest w zestaw kamer podobny do zestawu wykorzystywanego na stanowisku do kwalifikacji krytycznych odcinków drogi. Rejestrowany za jego pomocą obraz synchronizowany jest z danymi pozyskanymi z okulografu. Pozwala to na zachowanie możliwie największej ilości danych z przebiegu badania oraz służy do kontekstowej oceny rzetelności pomiaru.

Jednym z założeń proponowanej w projekcie metody jest uwzględnienie na etapie badań szczegółowych czynnika ludzkiego, realizowanego za pomocą przejazdów testowych nie jednego, a wyselekcjonowanej grupy kierowców. Wybór kierowców do próby celowej oparty jest o różnice indywidualne, określane za pośrednictwem testów psychologicznych. Ich wyniki decydują czy kandydaci kwalifikują się do jednej z dwóch grup badanych kierowców:

- standardowej - tzn. takiej, w której poszczególni kierowcy przejawiają cechy ogółu populacji kierowców,
- szczególnego ryzyka - przejawiających cechy mogące wpływać na zwiększenie zagrożenia w ruchu drogowym, powodowanego przez tych kierowców, ale nie dyskwalifikujących w zakresie posiadania uprawnień do kierowania pojazdem.

Do wytypowania kandydatów służy przede wszystkim zbiór odpowiednio dobranych testów Wiedeńskiego Systemu Testów (WST). Jest to uznane i szeroko stosowane na świecie narzędzie do przeprowadzania kwalifikacji zdolności psychofizycznych, wykorzystywane m.in. w badaniach kierowców. Pozwala na badanie cech takich jak czas reakcji, pole widzenia, zdolność do antycypacji czasowo-ruchowej, inteligencji, skłonności do zachowań ryzykownych itd., które są wykorzystywane do wyselekcjonowania kierowców o pożądanym cechach. System posiada wysoki wskaźnik dobroci psychometrycznej oraz został znormalizowany w badaniach odpowiedniej próby normalizacyjnej kierowców.

Z uwagi na charakter badania istnieje potrzeba kontroli wzroku osób biorących w nich udział. Do tego celu stanowisko zostało wyposażone w tester wzroku z funkcją kontrastometru do badania widzenia zmierzchowego sprawdzającego zdolność osób badanych do rozróżniania kontrastów.

Tak określona populacja „uśrednionych” kierowców stanowić będzie w badaniach próbę celową, wykazującą znamiona próby reprezentatywnej o wysokiej istotności. Takie rozwiązanie pozwoli na uprawnione zastosowanie statystycznej analizy danych, przy zachowaniu relatywnie małej pracochłonności

3 STANOWISKO DO OKULOGRAFICZNYCH BADAŃ BRD W WARUNKACH SYMULACYJNYCH

Podobne do wyżej omówionego stanowiska jest stanowisko do okulograficznych badań BRD w warunkach symulacyjnych. Zasadniczą różnicę jednak stanowi wykorzystanie do badań wysokiej klasy symulatora jazdy, umożliwiającego badania w quasi-rzeczywistych warunkach drogowych.



Rys. 4. Kabina symulatora wraz systemem ruchu

Wykorzystany do badań symulator [11] wyposażony jest w:

- oryginalną kabinę pojazdu osobowego (Opel Astra IV),
- elektryczny system ruchu, tzw. platformę Stewarta, zapewniającego 6 stopni swobody ruchu oraz umożliwiający wytwarzanie przyspieszeń i prędkości kabiny kierowcy mierzonych na siedzisku kierowcy o przyspieszeniach translacyjnych o wartościach większych niż 4 m/s², prędkości translacyjnych o wartościach co najmniej 0,3 m/s, przyspieszeń kątowych z o wartościami większych niż 200 stopni/s² i prędkości kątowych o wartościach ponad 30 stopni/s.
- wieloprojektorowy układ wyświetlania obrazu pokrywający obszar 200° w poziomie i 40° w pionie. Dodatkowo zastosowano 3 wyświetlacze obrazu symulujące lusterka wsteczne o rozdzielczości 3 minut kątowych i częstotliwość odświeżania obrazu 60 Hz,
- układ generowania obrazu bazujący na komputerach PC, zapewniający odwzorowanie typowej sieci dróg, w różnych warunkach pogodowych (pory roku i dnia, deszcz, śnieg, mgła).

W trakcie badań z wykorzystaniem symulatora, zamiast rzeczywistych parametrów przebiegu jazdy, rejestrowane są ich odpowiedniki ze środowiska symulacyjnego. Dane te są następnie importowane do programu stanowiącego ostatni element zestawu, w którym są synchronizowane z danymi uzyskanymi podczas badań okulograficznych oraz opracowywane statystycznie.

Ze względu na różnice między omawianym stanowiskiem, a stanowiskiem do badań w warunkach ruchu drogowego dostosowania wymagały wykorzystywane narzędzia i metody. W zamian za to środowisko symulacyjne oferuje znacznie większe możliwości przeprowadzania badań np.: jeszcze przed powstaniem drogi, przy uwzględnieniu różnych wariantów przebiegu i kształtu trasy.

Przeprowadzanie badań z wykorzystaniem symulatora jazdy rodzi jednak problemy związane z występowaniem u badanych tzw. choroby symulatorowej. Jest to zespół objawów takich jak: nudności, senność, dezorientacja, wymioty, występujących podczas, bądź po zakończeniu symulacji. Symptomy choroby symulatorowej wynikają z różnicy oraz opóźnień w odczuciach wizualnych i ruchowych kierowcy [14]. Dlatego realizm symulacji, jak wykazano w badaniach [13, 1], ma znaczący wpływ na jakość badań oraz szkoleń przeprowadzanych na symulatorze. Wykorzystanie oryginalnej kabiny pojazdu osobowego zapewniło kierowcy poczucie przebywania w prawdziwym pojeździe. Jednak największy wpływ na uniknięcie lub złagodzenie objawów choroby symulatorowej ma system ruchu. W symulatorach jazdy wysokiej klasy stosuje się systemy ruchu o sześciu stopniach swobody. Odpowiednio skalibrowany system ruchu pozwala w znacznym stopniu ograniczyć występowanie objawów choroby symulatorowej u badanych kierowców, co jest szczególnie istotne w aspekcie przeprowadzania długotrwałych badań, w trakcie których badane są funkcje uwagowe kierowcy, do których należy m.in. koncentracja. System ruchu jest odpowiednio skalibrowany, gdy wywołuje u kierującego pojazdem wrażenie ruchu możliwie zbliżone do tego jakie odczuwałby, w przypadku poruszania się rzeczywistym pojazdem w taki sam sposób co w symulacji. W związku z powyższym wytworzenie realistycznych odczuć u osób badanych było priorytetem przy budowie stanowiska. Realizacja tego zadania składała się z dwóch części. W pierwszej należało wyznaczyć jakie powinno być wysunięcie każdego z siłowników wchodzących w skład platformy ruchu, aby poruszyć platformą w pożądanym sposobie. Implementację takiego algorytmu przedstawiono w [7]. W drugiej opracowano sam algorytm odpowiedzialny za odwzorowanie ruchu pojazdu. Projekt i implementację algorytmu w programie Scilab opisano w [3].

4 PROGRAM DO OPERACJONALIZACJI I OPRACOWANIA WYNIKÓW BADAŃ BRD

Całość procesu oceny i/lub audytu BRD będzie nadzorował ostatni element proponowanego zestawu narzędzi – czyli program do operacjonalizacji i opracowania wyników badań. Umożliwia on sekwencyjne wykonywanie badań z wykorzystaniem wyżej omówionych narzędzi pozwalając na przyjęcie procesowej metody opisu zagadnienia BRD i zwiększając poziom rzetelności i trafności zarówno proponowanego zestawu narzędzi, jak również samego audytu BRD.

Oprócz opisanego zestawu narzędzi do badania bezpieczeństwa ruchu drogowego w ramach projektu powstały dodatkowo informatyczne narzędzia „pomocnicze”, umożliwiające automatyzację odtwarzania w środowisku symulacyjnym badanego odcinka drogi na podstawie m.in. planów

budowlanych i planów organizacji ruchu. Odwzorowanie otoczenia drogi ułatwiają rozbudowane biblioteki elementów, wykorzystywane przez program projektowy działającego na zasadzie metody „przeciągnij i upuść” (ang. Drag and Drop). Narzędzia takie pozwalają znacząco skrócić czas wykonania lub korekty projektów w środowisku symulacyjnym.

WNIOSKI

Prezentowany projekt weryfikacji, w zakresie bezpieczeństwa użytkowania, istniejącej infrastruktury drogowej opiera się na nowatorskim podejściu, polegającym na przyjęciu innej niż dotychczas perspektywy badawczej. Zmiana polega na ocenie wykonywanej, nie na podstawie norm i wytycznych, w tym wymaganych wymiarów geometrycznych infrastruktury drogowej, a na podstawie oceny widzialności istotnych dla bezpieczeństwa elementów infrastruktury. Głównym powodem takiego podejścia jest fakt, że nawet w najbardziej rozbudowanych i precyzyjnych normach nie da się przewidzieć wszystkich możliwych konfiguracji, obecnie coraz bardziej rozbudowanej infrastruktury drogowej.

Założeniem projektu jest włączenie, w celu wykonania procesu oceny BRD, reprezentatywnej próby użytkowników dróg, których zachowanie (fiksacja wzroku, ruchy głowy, reakcje podświadome) i opinie posłużą wskazaniu cech infrastruktury drogowej wymagających zmian w celu poprawy BRD.

Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Umowa nr PBS1/B6/9/2012, ID projektu 177562 (EYEVID).

Streszczenie

Poniższy artykuł poświęcony jest innowacyjnej metodzie analizy infrastruktury drogowej pod względem bezpieczeństwa zaproponowanej w projekcie EYEVID. Jego celem jest przeprowadzenie badań, których wyniki posłużą do opracowania narzędzi umożliwiających obiektywną ocenę bezpieczeństwa ruchu drogowego w zakresie widoczności kluczowych elementów infrastruktury dla już istniejących oraz dopiero projektowanych dróg. Możliwe jest to dzięki wykorzystaniu do badań specjalnie przystosowanego do tego celu samochodu osobowego oraz wysokiej klasy symulatora jazdy. W założeniu środowisko symulacyjne ma służyć do wizualizacji dróg dopiero projektowanych i odtworzenia w świecie wirtualnym już istniejących badanych dróg wraz z całym ich otoczeniem (znaki, reklamy, budynki i roślinność). Pozwala to na wykonywanie badań w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych oraz zapewnia wysoką powtarzalność warunków eksperymentu.

System ma pozwolić na badanie dróg pod względem ich wpływu na zachowanie kierowcy uwzględniając między innymi teorie psychologii poznawczej dotyczące alokacji uwagi. Badania kierowców (zarówno w rzeczywistym ruchu drogowym, jak i w środowisku symulatora jazdy) pozwolą wskazać na odcinki szczególnie niebezpieczne ze względu np. na wysoką koncentrację bodźców wzrokowych w efektywnym polu widzenia. Proponowany system ma za zadanie wspomagać proces decyzyjny odnośnie zmian w infrastrukturze drogowej, zmierzających do poprawy bezpieczeństwa ruchu.

Innovative methods and tools system for road infrastructure analysis; road safety improvement perspective

Abstract

This paper is devoted to the innovative method of road infrastructure analysis from the perspective of road safety proposed in EYEVID project. It aims to conduct the research whose results will serve to create tools for the objective appraisal of road safety in the aspect of visibility of the main items of infrastructure for the existing and under design roads. It is possible thanks to the use of specially adapted passenger vehicle and high tech driving simulator. The simulation environment will be used for the visualization of existing and under development roads including their vicinities (road signs, outdoor advertisement, buildings and green vegetation). This allows conducting the experiments in fully controlled laboratory conditions, additionally providing high level of repeatability.

The system is to allow the research of the influence of roads and their vicinities on drivers' behavior regarding cognitive and behavioral psychology concerning attention allocation. Drivers' examination (in real world and in the simulation) allows marking particularly dangerous segments, because of highly concentrated

visual stimuli in the present effective field view. The proposed system is to support decision process concerning changes in road infrastructure leading to the improvement of road safety.

BIBLIOGRAFIA

1. Allen R. W., Park G. D., Cook M. L., Fiorentino D., *The Effect of Driving Simulator Fidelity on Training Effectiveness*. DSC-NA 2007.
2. Baluch F., Itti L., *Mechanisms of top-down attention*. Trends in Neurosciences 2011, tom 34, nr 4, s. 210-224.
3. Borawski Ł., Grzeszczyk R., Fuć P., Lijewski P., *Design and Scilab implementation of a motion cueing algorithm for a 6 degrees of freedom driving simulator*. International CAE Conference 2014.
4. Brooks J.O. i in., *Simulator sickness during driving simulation studies*. Accident Analysis and Prevention 2010, nr 42, s. 788-796.
5. Carsten O., Jamson A.H., *Driving Simulator as Research Tool in Traffic Psychology*. Handbook of traffic psychology 2011, rozdział 7.
6. Castro C., Candida, *Visual Demands and Driving*. Human Factor of Visual and Cognitive Performance in Driving, CRC Press 2009, s. 1-29.
7. Fuć P., Lijewski P., Borawski Ł., Grzeszczyk R., *Scilab implementation of inverse kinematics and inverse dynamics algorithms of a Gough-Stewart Platform*. International CAE Conference 2014.
8. Ho, C., Spence, C., *The Multisensory Driver*. Human Factors in Road and Rail Transport, Ashgate 2008, s. 1-35.
9. Holmqvist K. i in., *Eye-tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press, New York 2011, s.110-143.
10. Itti L., Koch C., Niebur E., *A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 1998, tom 20, nr 11, s. 1254-1259.
11. Kamiński T., Niezgoda M., Grzeszczyk R., *Advanced car driving simulator – ASI200-6*. Journal of KONES Powertrain and Transport 2011, tom 18, nr 4, s. 173-178.
12. Niezgoda M., Kamiński T., Ucińska M., Kruszewski M., *Effective methods for drivers research with use of a driving simulator*. Journal of KONES Powertrain and Transport 2011, tom 18, nr 3, s. 309-316.
13. Park G. D., Allen R. W., Rosenthal T. J., Fiorentino D. *Training Effectiveness: How Does Driving Simulator Fidelity Influence Driver Performance?* Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 2005, tom 49, nr 25, s. 2201-2205.
14. Slob J. J., *State-of-the-Art Driving Simulators*. a Literature Survey. DCT Report, Eindhoven 2008.
15. SMI Eye Tracking Glasses @ONLINE. September 2014. URL: http://eyetracking.co.kr/release_etg20/