

Ocena dokładności stereowizyjnej metody inspekcji dróg

Marcin Staniek

*Katedra Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu,
Politechnika Śląska, email: marcin.staniek@polsl.pl*

Streszczenie: Ocena dokładności stereowizyjnej metody inspekcji dróg została zrealizowana na podstawie analizy rozkładu różnic pomiędzy pomiarami metody stereowizyjnej i metody pomiaru bezpośredniego z wykorzystaniem dalmierza laserowego. Przeprowadzona analiza ma zweryfikować uzyskany charakter błędów odwzorowania nawierzchni drogi. Została przeprowadzona na zbiorze danych pozyskanych podczas realizacji pomiarów w 160 przekrojach badawczych dla różnych nawierzchni drogowych o różnym stopniu degradacji.

Oceniana metoda inspekcji stanu nawierzchni drogowych bazuje na metodzie stereowizyjnej odwzorowania nawierzchni drogi. Opis przestrzenny jest wyznaczany na podstawie stereo-obrazów pozyskany podczas wykonywania sekwencji zdjęć z pojazdu pomiarowego poruszającego się po badanym odcinku drogi.

Właściwa analiza danych obrazowych i zastosowanie przekształceń matematycznych umożliwia określenie parametrów technicznych i eksploatacyjnych drogi. Opis przestrzenny pozwala na precyzyjną ocenę stanu nawierzchni drogi, która w tradycyjnych metodach obrazowania bez informacji dotyczącej głębi jest trudna do realizacji i często obciążona błędami kwalifikacji poszczególnych uszkodzeń nawierzchni.

Słowa kluczowe: diagnostyka nawierzchni drogowych, ocena nawierzchni drogowych, przetwarzanie obrazów, stereowizja cyfrowa, dokładność odwzorowania.

1. Wprowadzenie

Manualna inspekcja drogi jest najbardziej popularną metodą monitoringu stanu nawierzchni dróg lokalnych. Wykonywana jest przez wykwalifikowanych inspektorów, którzy chodząc lub jeżdżąc wzdłuż drogi zliczają nieprawidłowości. Pomimo powszechności stosowania ten rodzaj inspekcji drogi zawiera wiele wad. Metoda ta jest m.in. wolna w realizacji pomiarów, pracochłonna ze względu na ręczny obmiar uszkodzeń, a tym samym kosztowana. Opis stanu badanej nawierzchni drogi jest obciążony subiektywnym podejściem inspektorów realizujących pomiar co generuje nieścisłości i niedokładności w opisie. Dodatkowo ten rodzaj inspekcji drogi stanowi duże zagrożenie bezpieczeństwa pracy inspektorów ze względu na pracę przy dużym natężeniu ruchu pojazdów, często przy dużych prędkościach [1].

W celu minimalizacji wad manualnego systemu zbierania danych o stanie nawierzchni drogowych konieczne jest wprowadzanie automatycznych systemów pomiarowych. W literaturze obserwuje się różne prace nad zastosowaniem nowych technologii w inspekcji drogi. Z pracy [2] znany jest wielo-sensorowy mobilny system skanowania laserowego nawierzchni drogowych, który swoim zasięgiem skanowania obejmuje szerokość 8 m pasa drogi. Wadą tego systemu skanowania jest nierównomierność i nieregularność pomiarów, który wynika z problemu skanowania powierzchni pokrytych warstwą wody lub powierzchni szklanych.

W dalszej części artykułu przedstawiono rozwiązania związane z zastosowaniem technik przetwarzania obrazów i stereowizji do inspekcji dróg. Prototyp urządzenia pozwalający na uzyskanie danych opisu drogi z wykorzystaniem systemu dwóch kamer i wskaźnika laserowego do szacowania stanu mikro i makro tekstury nawierzchni drogowej przedstawiono w pracach [3][4]. Precyzja pomiarów na poziomie 0,5 mm jest zapewniona przez zaproponowaną przez autorów procedurę kalibracji, której realizacja jest złożona i czasochłonna.

Autorzy prac [5][6] proponują metody stereowizyjne do identyfikacji wybojów drogowych z zastosowaniem oświetlenia liniowego LED lub projektora wyświetlającego określone wzorce. W procesie identyfikacji uszkodzeń mierzone są odchylenia między teoretyczną informacją świetlną otrzymaną na idealnie równej powierzchni, a rzeczywistą zdeformowaną linią świetlną lub zdeformowanym wzorcem. Precyzja pomiarów zaproponowanego rozwiązania utrzymuje się na poziomie 5 mm.

Z publikacji [7] oraz raportów [8][9] znane jest zastosowanie technik stereowizyjnych do diagnostyki stanu nawierzchni. Autorzy wykazują możliwość odwzorowania profilu poprzecznego, profilu podłużnego, oraz identyfikacji uszkodzeń nawierzchni z wykorzystaniem metod dopasowania obszarami, miarą korelacji krzyżowej okien obrazu wyznaczonych metodą detekcji narożników. W pracy autorzy zaznaczyli, że prezentowane rozwiązanie nie może być w pełni zastosowane w praktyce ze względu na ograniczenia sprzętowe.

W pracy [10] przedstawiono zastosowanie miar dopasowania z wykorzystaniem średniej sumy kwadratów okien dopasowania stereo-obrazów, algorytm odcięcia tła po filtrowaniu medianowym dla identyfikacji uszkodzeń nawierzchni oraz przekształcenia morfologiczne obrazów dla eliminacji nierównomiernego oświetlenia drogi. Zastosowano model SVM identyfikacji uszkodzenia nawierzchni dla obszarów charakteryzujących się innym kolorem czy teksturą.

Rozwiązania hybrydowe systemów 2D / 3D identyfikacji stanu nawierzchni drogowej zaproponowano w pracach [11][12]. Połączenie kamer liniowych 2D, kamer 3D oraz wskaźników laserowych pozwoliło na połączenie opisu 2D w rozdzielczości 1mm z opisem obrazów 3D. Wadą rozwiązania jest wymagany suchy stan nawierzchni drogi do realizacji pomiarów.

Z opisu patentu międzynarodowego WO2011069191 [13] znany jest sposób i urządzenie do wyznaczania wysokiej rozdzielczości map nawierzchni drogi, które są elementem wejściowym systemu automatycznej identyfikacji stanu nawierzchni tj. identyfikacji pęknięć, kolein i struktury powierzchni drogi. Urządzenie obejmuje m.in. liniowe kamery, zestaw lamp LED do doświetlania badanej powierzchni, moduł synchronizacji oświetlenia. Autorzy w celu zwiększania dokładności opisu map odwzorowania stanu drogi zalecają połączenie systemu identyfikacji stanu nawierzchni z systemem punktów wzorcowych wyznaczanych z wykorzystaniem skanowania laserowego. Proponowane jest wykorzystanie wskaźnika laserowego do identyfikacji punktów wzorcowych przy zastosowaniu technik triangulacji lub zastosowanie rozwiązania LIDAR - obrotowego urządzenia skanującego laserowo.

2. Mobilne stereowizyjne stanowisko pomiarowe

Zaproponowane przez autora pracy stanowisko do identyfikacji stanu nawierzchni zostało opracowane z uwzględnieniem wytycznych systemów utrzymania nawierzchni drogowych. Autor pracy przeanalizował wymagane parametry techniczne i eksploatacyjne

opisu stanu nawierzchni drogowych, rozpatrzył uwagi inspektorów realizujących pomiary różnymi metodami i urządzeniami pomiarowymi oraz możliwości wykorzystania technik stereowizyjnych w odwzorowaniu nawierzchni drogi. Dobre zrozumienie wymagań, oczekiwań, ograniczeń i możliwości pozwoliło na opracowanie mobilnego stereowizyjnego stanowiska pomiarowego przeznaczonego do inspekcji dróg.

Mobilne stanowisko pomiarowe wyposażone jest w zestaw urządzeń optoelektronicznych - kamer CCD do akwizycji zbioru danych wizyjnych dotyczących nawierzchni drogowych oraz urządzeń elektronicznych do identyfikacji przemieszczeń położenia XYZ stanowiska pomiarowego, identyfikacji obrotu poprzecznego stanowiska pomiarowego względem kierunku ruchu pojazdu oraz urządzenia identyfikacji kąta obrotu koła pojazdu pomiarowego – przebytego dystansu. Dodatkowym elementem stanowiska pomiarowego jest moduł GPS do odczytu aktualnej geograficznej lokalizacji pojazdu pomiarowego, a w powiązaniu z systemem inspekcji dróg do określania pozycji uszkodzeń nawierzchni drogi.

Konstrukcja nośna stanowiska pomiarowego wykonana została z profili aluminiowych z elementami mocującymi do tylnej części karoserii pojazdu pomiarowego, przy czym miernik obrotu koła pojazdu zamontowany został na nadkolu pojazdu. Układ elektroniczny akwizycji/synchronizacji stereo-obrazów oraz urządzenie rejestrujące zbiór danych wizyjnych - rejestrator stereo-obrazów, umieszczono w części tylnej, bagażowej pojazdu. Stanowisko pomiarowe przedstawia rys. 1.



Rys.1. Stereowizyjne stanowisko pomiarowe

W opracowanym stereowizyjnym stanowisku pomiarowym inspekcji dróg pierwszą operacją przeprowadzaną na pozyskanych z CCD kamer stereo-obrazach jest korekcja zniekształceń optycznych, a następnie rektyfikacja pary stereo-obrazów [14][15]. Procedura kalibracji stereo-obrazów zostaje przeprowadzona z wykorzystaniem klasycznego wzorca kalibracyjnego. Po rejestracji stereo-obrazów wzorca kalibracyjnego w kolejnym kroku wykonywana zostaje procedura rozpoznawania cech obiektów wzorca kalibracyjnego opisanego we współrzędnych pikselowych obrazu i przekształcenie ich do opisu w układzie zewnętrznym stanowiska pomiarowego. Parametry niezbędne do przeprowadzenia korekcji i rektyfikacji stereo-obrazów są definiowane podczas kalibracji układu stereowizyjnego kamer.

Po przeprowadzeniu korekcji zniekształceń i rektyfikacji stereo-obrazów obliczona zostaje mapa dysparycji. Z literatury [16][17][18][19][20] znana jest różnorodność metod przetwarzania obrazów obiektów na ich przestrzenną interpretację. Nie ma jednak materiałów dotyczących idei rekonstrukcji sceny 3D na podstawie zdjęć nawierzchni drogi. W opracowanym stanowisku badawczym zastosowano metodę bezpośrednią wyznaczania gęstej mapy dysparycji z zastosowaniem miary dopasowania SAD dla obszarów obrazów monochromatycznych, ze względu na analizę i ocenę całości powierzchni drogi oraz szybkość obliczeń [21][22]. Rozmiar oraz kształt obszarów porównywanych obrazów metody SAD określony został na podstawie analizy makrotekstury nawierzchni asfaltowych

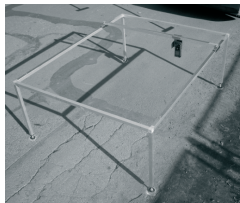
i betonowych, w której uwzględniono strukturę nawierzchni drogi występujące na jej powierzchni, wielkości ziaren ich odwzorowanie na rejestrowanych stereo-obrazach. Dodatkowo wielokrotnie przeprowadzono obliczenia miar dopasowania dla różnych rozmiarów i kształtów porównywanych obszarów stereo-obrazów.

Po wyznaczeniu punktów najlepszego dopasowania analizowanych pikseli stereo-obrazów przeprowadzona zostaje procedura wyznaczenia odwzorowania 3D nawierzchni drogi. Sposób odwzorowania jest zdefiniowany i opisany regułami matematycznymi, przebiega wg określonego algorytmu; opis szczegółowo przedstawiony został w pracy [23]. Przy wyznaczeniu zbioru punktów analizowanych pikseli stereo-obrazów wyznaczona zostaje gęsta siatka odzwierciedlająca nawierzchnię drogi.

3. Ocena stereowizyjnej metody pomiarowej

Ocena zaproponowanej przez autora pracy metody stereowizyjnej odwzorowania nawierzchni drogowej została przeprowadzona poprzez porównanie uzyskanych danych wyznaczonych dla poszczególnych przekrojów pomiarowych z danymi opisu drogi z wykorzystaniem dalmierza laserowego. Wzorcowe stanowisko pomiarowe zostało wykonane ze względu na trudność w zdobyciu urządzenia umożliwiającego odwzorowanie nawierzchni drogi z wysoką rozdzielczością w płaszczyźnie XY oraz konieczność przeprowadzenia pomiarów w warunkach terenowych. Dodatkowym czynnikiem warunkującym potrzebę opracowania takiego stanowiska był czas realizacji pomiaru, który ze względu na utrudnienia w ruchu dla pojazdów podczas realizacji pomiarów musi być minimalizowany.

Wzorcowe stanowisko pomiarowe zostało wykonane z lekkiej konstrukcji aluminiowej i pozwala na płynne przemieszczanie modułu mierzącego na powierzchni XY o wymiarach 1100 mm na 850 mm. Ze względu na zastosowaną metodę odwzorowania nawierzchni drogi pozycje modułu pomiarowego można zmieniać z rozdzielczością 1 mm w obu osiach X i Y. Oś Z jest zgodna z kierunkiem wykonywania pomiarów odwzorowania nawierzchni drogi. Zastosowany dalmierz laserowy Leica DISTRO D3a posiada typową dokładność pomiarów na poziomie ± 1 mm. Dodatkowo stanowisko pomiarowe zostało wyposażone w dynamicznie modyfikowane podpory umożliwiające precyzyjne ustawienie stanowiska w płaszczyźnie poziomej do odwzorowywanej nawierzchni drogi. Na rys. 2 przedstawiono wykonane stanowisko pomiarowe do przeprowadzenia odwzorowania nawierzchni drogi z zastosowaniem dalmierza laserowego.



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe z zamontowanym dalmierzem laserowym

W celu precyzyjnego odwzorowania nawierzchni drogowej pomiary zostały wykonane na stanowisku stacjonarny tzn. w trakcie realizowanych pomiarów na dokładność opisu nie miały wpływu przemieszczenia stanowiska pomiarowego (drgania układu). W procesie oceny przejęto, że opis drogi wykonany z użyciem dalmierza laserowego stanowi wystarczająco precyzyjne odwzorowanie nawierzchni drogi będące wzorcem dla porównania z danymi otrzymanymi z wykorzystaniem metody stereowizyjnej.

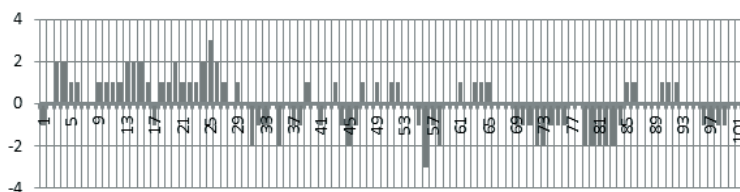
Porównanie otrzymanych danych z dwóch metod pomiarowych wykonano wyznaczając bezwzględne różnice między wartościami z pomiarów wykonanych metodą stereowizyjną, a wartościami z pomiarów wykonanych z wykorzystaniem modułu dalmierza laserowego wg zależności:

$$\Delta z(i, j) = z_d(i, j) - z_s(i, j) \quad (1)$$

gdzie: $\Delta z(i, j)$ - bezwzględna różnica między pomiarem uzyskanym metodą stereowizyjną, a pomiarem wyznaczonym na bazie pomiaru odległości z wykorzystaniem dalmierza,
 $z_d(i, j)$ - wynik i-tego pomiaru w j-tym przekroju pomiarowym dla realizacji pomiaru z wykorzystaniem dalmierza,
 $z_s(i, j)$ - wynik i-tego pomiaru w j-tym przekroju pomiarowym dla realizacji pomiaru metodą stereowizyjną

W celu oceny zaproponowanej stereowizyjnej metody pomiarowej zdefiniowano 160 przekrojów pomiarowych. Pomiary poszczególnych punktów pomiarowych wykonano z wykorzystaniem rozwiązania stereowizyjnego i pomiaru bezpośredniego modułem dalmierza. Rozdzielczość między kolejnymi punktami pomiarowymi wynosiła 5 mm.

Ilustrację graficzną bezwzględnych różnic (w mm) pomiędzy obiema metodami pomiarowymi dla przykładowego przekroju pomiarowego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Różnice w pomiarach dla przykładowego przekroju pomiarowego

W celu sprawdzenia czy uzyskane błędy odwzorowania nawierzchni drogi metodą stereowizyjną mają charakter przypadkowy przeprowadzono analizę rozkładu różnic pomiędzy pomiarami metody stereowizyjnej i metody pomiaru bezpośredniego dalmierzem. Do weryfikacji normalności rozkładu różnic pomiędzy obiema metodami wykorzystano test statystyczny Shapiro-Wilka. Przyjęto hipotezę zerową H_0 , że bezwzględne różnice między pomiarami uzyskanymi z obu metod ma rozkład normalny, hipotezę alternatywną H_1 - różnice między pomiarami nie ma rozkładu normalnego.

Podczas realizacji obliczeń przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$, natomiast wartość statystyki testowej U_n określonej w teście Shapiro-Wilka wg wzoru [24]:

$$U_n = \frac{\left[\sum_i^{n/2^*} a_{n-i+1} (X_{n-i+1} - X_i) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

gdzie: X_i - uporządkowane rosnąco elementy próby, a_n - współczynnik Shapiro-Wilka, zgodny z liczebnością próby n , $n/2^*$ - część całkowita liczby $n/2$.

Obszar krytyczny w wykonywanym teście statystycznym jest przedziałem prawostronny, określony w postaci $W: [0, U_{kryt}]$, gdzie wartość graniczną U_{kryt} odczytano z tablicy [24]. Weryfikację hipotez statystycznych dla wybranych dwudziestu siedmiu

przekrojów pomiarowych przedstawiono w tabeli 1. Symbolami $\overline{\Delta z_i}$ i $\phi\Delta z_i$ oznaczono wartości średnie różnic i odpowiadające im odchylenie standardowe (w mm) dla przekroju pomiarowego j . Maksymalne różnice obu metod pomiarowych, przekroju pomiarowego j dla zbioru wartości ujemnych i dodatnich określono odpowiednio jako r_{\max}^- i r_{\max}^+ .

Tabela 1. Wyniki opisu 27 przekrojów pomiarowych

j	$\overline{\Delta z_i}$	$\phi\Delta z_i$	r_{\max}^-	r_{\max}^+	U_n	U_{kryt}	n
1	-0,07	0,99	-2	2	0,82	0,762	5
2	0,15	0,76	-2	2	0,876	0,762	5
3	0,23	0,88	-2	2	0,837	0,762	5
4	-0,50	1,14	-3	2	0,888	0,788	6
5	-0,37	1,08	-3	2	0,918	0,788	6
6	-0,01	1,33	-2	3	0,926	0,788	6
7	0,01	1,07	-3	2	0,872	0,788	6
8	0,16	1,07	-2	3	0,872	0,788	6
9	0,18	1,02	-2	3	0,931	0,788	6
10	0,21	0,97	-2	3	0,837	0,788	6
11	0,32	0,96	-3	2	0,879	0,788	6
12	0,72	1,16	-2	3	0,876	0,788	6
13	-0,67	1,19	-3	3	0,896	0,803	7
14	-0,58	1,06	-4	2	0,884	0,803	7
15	-0,41	1,29	-3	3	0,905	0,803	7
16	-0,33	1,29	-3	3	0,896	0,803	7
17	0,17	1,13	-3	3	0,908	0,803	7
18	0,33	1,31	-3	3	0,879	0,803	7
19	0,45	1,22	-3	3	0,906	0,803	7
20	1,00	1,11	-2	4	0,827	0,803	7
21	-0,36	1,47	5	2	0,839	0,818	8
22	-0,29	1,19	-4	3	0,852	0,818	8
23	0,28	1,49	-3	4	0,852	0,818	8
24	0,43	1,35	-3	4	0,899	0,818	8
25	-0,66	1,71	-5	3	0,895	0,829	9
26	0,15	1,55	-5	3	0,833	0,829	9
27	0,21	1,30	-4	4	0,835	0,829	9

Wyniki dotyczące weryfikacji hipotez statystycznych pokazują, że niema podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 o rozkładzie normalnym różnic poszczególnych pomiarów przedstawionych przekrojów badawczych. Oznacza to tym samym, że błędy mają charakter losowy, ponieważ nie występują błędy o charakterze stałym i systematycznym. Dodatkowo rozkład jest symetryczny ze średnią wokół zera, co potwierdza losowość powstałych błędów. Uzyskane wartości średnich różnic $\overline{\Delta z_i}$ oraz odpowiadające im odchylenia standardowe $\phi\Delta z_i$ dla poszczególnych przekrojów pomiarowych j potwierdzają precyzję odwzorowania nawierzchni dla opracowanej stereowizyjnej metody inspekcji dróg.

4. Wnioski

Ocenę dokładności opracowanej przez autora pracy stereowizyjnej metody inspekcji drog wykonano porównując otrzymane odwzorowanie nawierzchni drogi z pomiarami

bezpośrednimi wykonanymi z wykorzystaniem stanowiska badawczego wyposażonego w moduł mierzący – dalmierz laserowy. Analizę dokładności przeprowadzono dla stu sześćdziesięciu przekrojów pomiarowych w różnym stanie technicznych. Otrzymane wyniki porównania obu metod wskazują, że otrzymane błędy odwzorowania nawierzchni mają charakter przypadkowy, niezwiązany z opracowaną metodą badawczą.

Zwiększona dokładność opisu stanu nawierzchni drogi z wykorzystaniem metody pomiaru stereowizyjnego zwiększa możliwości identyfikacji różnego typu uszkodzeń. Precyzyjny opis pozwala na identyfikację miejsc szczególnie niebezpiecznych wymagających natychmiastowych zabiegów naprawczych lub remontowych. Zaletą stereowizyjnej inspekcji dróg jest automatyzacja sposobu identyfikacji odcinków drogi niespełniających wymogów bezpieczeństwa ruchu drogowego. Proponowane rozwiązanie charakteryzuje się wysoką szybkością działania, niższym nakładem czasowym oraz niższym kosztem przypadającym na procedurę pomiaru i procedurę identyfikacji uszkodzeń niż w metodach tradycyjnych. Dodatkowo proponowane rozwiązanie pozwala na zachowanie powtarzalności oceny badanego odcinka drogi i nie ma ograniczeń metody skanowania laserowego, która musi być wykonywana tylko na nawierzchniach suchych.

Literatura

- 1 M. Mustaffar, T. C. Ling, O. C. Puan, "Automated Pavement Imaging Program for pavement cracks classification and quantification – a photogrammetric approach", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B4) pp. 367-372 (2008).
- 2 Si-Jie Yu, S. R. Sukumar, A. F. Koschan, D. L. Page, M. A. Abidi, "3D reconstruction of road surfaces using an integrated multi-sensory approach", *Optics and Lasers in Engineering* 45(7), pp. 808-818 (2007).
- 3 J. L. Vilaça, J. C. Fonseca, A.C.M. Pinhod, E. Freitase, "3D surface profile equipment for the characterization of the pavement texture – TexScan", *Mechatronics* 20(6), pp. 674-685 (2010).
- 4 J. L. Vilaça, J. C. Fonseca, A. M. Pinho, "Non-contact 3D acquisition system based on stereo vision and laser triangulation", *Machine Vision and Applications* 21(3), pp. 341-350 (2010).
- 5 Y. He, J. Wang, H. Qiu, W. Zhang, J. Xie, "A research of pavement potholes detection based on three-dimensional projection transformation", *Proc. of 4th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)* 4, pp. 1805-1808 (2011).
- 6 A.E. Grace, D. Pycock, H.T. Tillotson, M.S. Snaith, "Active shape from stereo for highway inspection", *Machine Vision and Applications* 12, pp. 7-15 (2000).
- 7 K. C. P. Wang, W. Gong, R.P. Elliott, "A feasibility study on data automation for comprehensive pavement condition survey", *Proc. of 6th Internat. Conference on Managing Pavements*, (2004)
- 8 K. C. P. Wang, W. Gong, "Automated Pavement Distress Survey: A Review and A New Direction", *Prof. of Pavement Evaluation Conference*, (2002).
- 9 K. C. P. Wang, "Automated pavement distress survey through stereovision", *NCHRP-IDEA Program Project Final Report*, Transportation Research Board, (2004).
- 10 E. Salari, E. Chou, J. J. Lynch, "Pavement distress evaluation using 3d depth information from stereo vision", *MIOH UTC TS43 2012-Final Report*, Transportation Research Board, (2012).
- 11 K. C. P. Wang, W. Gong, T. Tracy, V. Nguyen, "Automated survey of pavement distress based on 2D and 3D laser images", *MBTC DOT 3023 –Grant*, Transportation Research Board, (2011).
- 12 K. C. P. Wang, "Elements of automated survey of pavements and a 3D methodology", *Journal of Modern Transportation* 19(1), pp. 51-57 (2011).
- 13 Patent description, WO2011069191, "High speed photometric stereo pavement scanner", (16 June 2011).
- 14 L. Di Stefano, M. Marchionni, S. Mattoccia, "A PC-based Real-Time Stereo Vision System", *Machine Graphics & Vision*, 13(3), pp. 197-220 (2004).

- 15 A. Fusiello, E. Trucco, A. Verri, "A compact algorithm for rectification of stereo pairs", *Machine Vision and Applications*, 12, pp. 16–22 (2000).
- 16 B. Scharstein, "View Synthesis Using Stereo Vision", *Lecture Notes in Computer Science* 1582, Springer-Verlag, Berlin (1999).
- 17 B. Cyganek, P. Siebert, "An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms", John Wiley & Sons, Chichester (2009).
- 18 Szeliski, "Computer Vision. Algorithms and Applications", Chap. 11 in *Stereo correspondence*, pp. 467-503, Springer-Verlag, London (2011).
- 19 J. A. Kalomiros, "Dense disparity features for fast stereo vision", *Journal of Electronic Imaging*. 21(4),241-248 (2012).
- 20 M, S. Soatto, J. Kosecka, S.S. Sastry, "An invitation to 3-D vision: from images to geometric models", Springer-Verlag, New York (2004).
- 21 M.Z. Brown, D. Burschka, G.D. Hager, "Advances in computational stereo", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(4), pp. 993–1008 (2003),
- 22 Technical Details of ICX204AK CCD Camera (update February 2012)
- 23 M. Staniek "Pavement conditions diagnosis by means of stereoscopy". *Proc. of the 58th Conference of Scientific Problems of Civil Engineering*, pp. 358-359 (2012).
- 24 J. R. Taylor: *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, W-wa (2013)

The estimation of stereovision precision in road inspection

Marcin Staniek

*Department of Transport Systems and Traffic Engineering, Faculty of Transport,
Silesian University of Technologies, email: marcin.staniek@polsl.pl*

Abstract: The estimation of stereovision precision in road inspection was determined by the analysis of the distribution of differences between measurements: the stereo vision method and the method of direct measurement with the use of laser distance meter. The carried out analysis is aimed at verifying the type of mapping error of a road surface. The input data was obtained from 160 measurement sections which feature both a different type and a different condition of road pavement.

The estimated method of road inspection is based on the stereo vision method of surface representation. Spatial representation of the road is obtained from the images recorded through taking stereo sequences of images by the measurement vehicle moving along the studied section of the road. The proper analysis of the image-based data and the application of mathematical transformations allow for determination of technical and functional parameters of the road. Spatial description allows for a precise evaluation of the state of a road pavement, which in traditional methods of image processing, without information about the depth, is difficult to be achieved and often burdened with errors of qualification of road distresses.

Keyword: diagnostics of road pavements, evaluation of road pavement, image processing, stereo vision, mapping accuracy