

Analiza dokładności metod optycznego skanowania 3D

Optical 3D scanning accuracy check

KAROL DEREJCZYK
PRZEMYSŁAW SIEMIŃSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.4.41

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAX 2015

Opisano cztery metody optycznego skanowania 3D: wiązką lasera, widzialnym i podczerwonym światłem strukturalnym oraz fotogrametrią. Wyniki pomiarów porównano z pomiarem referencyjnym i przedstawiono w postaci map odchyłek.

SŁOWA KLUCZOWE: skaner 3D, pomiar, odchyłki

The article describes four different methods of optical 3D scanning: laser beam, visible/infrared structural light and photogrammetry methods. The measurement results were compared with the reference measurements and shown in the deviation maps.

KEYWORDS: 3D scanner, measurement, deviation

Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń do bezdotykowych pomiarów przestrzennych. Są to skanery 3D. Wykorzystują one różne metody pomiaru współrzędnych punktów opisujących mierzony obiekt oraz charakteryzują się różnymi parametrami technicznymi – tj. zakresem pomiarowym (przestrzenią pomiarową), rozdzielczością, niepewnością pomiaru – i ceną. W 2008 r. została opracowana norma określająca dokładność metrologiczną bezdotykowych skanerów 3D – VDI/VDE 2634 [1÷3] – ale tylko nieliczni producenci podają zgodne z nią charakterystyki metrologiczne [4]. Według tej normy określany jest błąd pomiaru średnicy kuli w 10 pozycjach w obszarze pomiarowym. Ponadto mierzony jest błąd wskazania długości (stosuje się do tego zwykle wzorzec składający się z dwóch połączonych kul) i błąd płaskości (wyznaczany na płaskiej płytce). Norma nie przewiduje pomiarów złożonych kształtów.

Aby określić różnice dokładności skanerów 3D działających według różnych metod pomiarowych, przeprowadzono pomiary kilku obiektów [5]. Ze względu na ograniczone miejsce w tym artykule pokazano to na przykładzie obudowy lusterka samochodu osobowego Chevrolet Aveo wykonanego z szarego, matowego tworzywa ABS.

Wykorzystano następujące metody pomiaru:

- skanowanie głowicą laserową na maszynie współrzędnościowej,
- skanowanie skanerem światła strukturalnego,
- skanowanie sensorem Kinect,
- fotogrametrię.

Mapy odchyłek przygotowano w programie Geomagic Studio w wersji 2013, udostępnionym przez firmę Smarttech [6].

Pomiar nr 1 wykonano głowicą laserową Nikon LC60Dx zamontowaną w przegubie obrotowo-uchylnym pinoli współrzędnościowej maszyny pomiarowej (WMP) Nikon Altera 7.5.5 wyposażonej w oprogramowanie Nikon Focus 10, udostępnionej przez firmę Smart Solutions [7].

Głowica laserowa (będąca skanerem 3D) generuje liniową wiązkę laserową o szerokości 60 mm, która pozwala uzyskać rozdzielczość 60 μ m (1000 punktów). Maksymalna prędkość skanowania wynosi 75000 pkt/s. Błąd pomiaru punktu (MPEp; według PN-EN ISO 10360-2) wynosi 7 μ m, natomiast błąd pomiaru z wielu kierunków (MPEal; według PN-EN ISO 10360-5, dla WMP z niepewnością pomiaru $\pm 2 \mu$ m + $L/350$ lub lepszą) wynosi 9 μ m [7].

Do pomiaru nr 2 użyto dwóch skanerów 3D światła strukturalnego:

- scan3D Surface 2 Mpx (o rozdzielczości detektora 1600 \times 1200 pkt, odległości pomiędzy punktami 0,12 \div 1 mm i dokładności 20 \div 30 μ m [6]),
- scan3D Surface 10 Mpx (o rozdzielczości detektora 3840 \times 2748 pkt, odległości pomiędzy punktami 0,05 \div 0,4 mm i dokładności 20 \div 30 μ m [6]).

Oba urządzenia produkuje firma Smarttech [5], która użyła ich do pomiarów. Obudowa badanego lusterka została pobielona. Zastosowano oprogramowanie Mesh3D w wersji 5.5.

Pomiar nr 3 przeprowadzono sensorem Microsoft Kinect do konsoli gier wideo Xbox360 [8], a wyniki opracowano w programie Scanect 1.5. Sensor Kinect ma wbudowane dwie kamery CMOS (RGB i IR) oraz promiennik podczerwieni [9]. Rozdzielczość informacji o głębi wynosi 300 \times 200 pkt (0,06 Mpx) i jest programowo interpolowana do 640 \times 480 pkt. Zakres działania czujnika obejmuje odległości 0,4 \div 6,5 m. Informacja o odległości we wszystkich punktach pozwala na pomiar kształtu obiektu (np. sylwetki człowieka), przy czym urządzenie najlepiej działa w niezbyt nasłonecznionych pomieszczeniach.

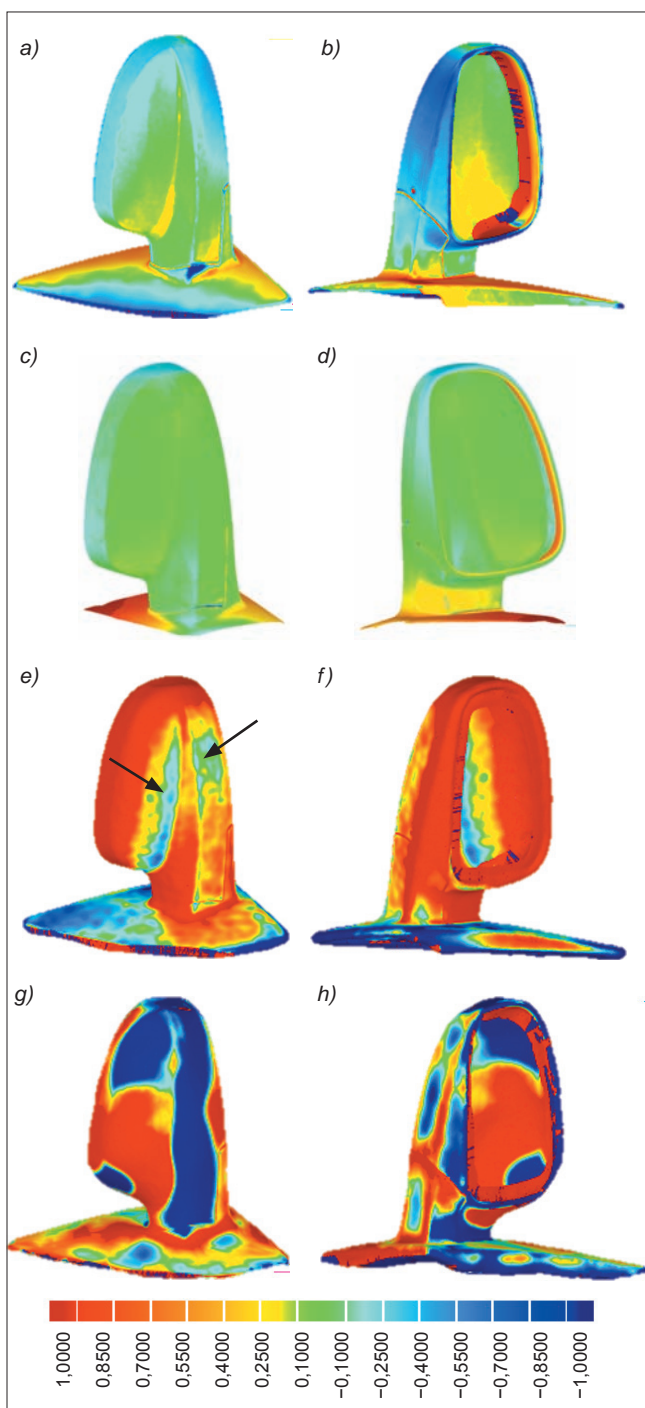
Do pomiaru nr 4 użyto cyfrowego aparatu fotograficznego Nikon D60 z matrycą 10 Mpx o maksymalnej rozdzielczości 3872 \times 2592 pkt. Wyniki opracowano w oprogramowaniu Autodesk 123d Catch [10]. Zrobiono kilkadziesiąt zdjęć dookoła obiektu. Kolejne zdjęcia pokrywały się ze sobą przynajmniej w 50%. Program wyszukał wspólne punkty na każdym ze zdjęć i utworzył siatkę trójkątów.

Mapy odchyłek pokazano na rysunku, natomiast w tabelicy zestawiono wartości maksymalnych i średnich odchyłek oraz odchylenia standardowego. Jako pomiaru referencyjnego użyto geometrii siatkowej, uzyskanej podczas

TABLICA. Wyniki pomiarów w postaci średnich odchyłek

Urządzenie lub metoda pomiaru	Maksymalna odchyłka mm	Średnia odchyłka mm	Odchylenie standardowe mm
Smarttech scan3D Surface 2 Mpx	1,91/-1,49	0,29/-0,29	0,42
Smarttech scan3D Surface 10 Mpx	1,12/-0,93	0,09/-0,08	0,13
Microsoft Kinect for Xbox	8,25/-6,78	2,22/-1,75	2,94
Fotogrametria	10,23/-9,19	1,57/-2,04	2,66

* Inż. Karol Derejczyk (karol.derejczyk@gmail.com) – Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej, dr inż. Przemysław Siemiński (psieminski@simr.pw.edu.pl) – Instytut Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej



Rys. Mapy odchyłek (w mm) dla pomiarów obudowy lusterka samochodowego. Jako geometrię referencyjną wybrano pomiar głowicą laserową Nikon LC60Dx, z którym porównano pomiary: a–b) skanerem Smarttech scan3D Surface 2 Mpx, c–d) skanerem Smarttech scan3D Surface 10 Mpx, e–f) sensorem Microsoft Kinect for Xbox, g–h) techniką fotogrametrii z użyciem aparatu Nikon D60 i oprogramowania Autodesk 123D Catch

skanowania głowicą laserową Nikon LC60Dx, ponieważ cechuje się ona największą dokładnością spośród wszystkich urządzeń (według informacji podanych przez ich producentów [7]).

Obudowa lusterka składa się z kilkunastu połączonych powierzchni swobodnych. Tylko w kilku miejscach występują znaczne zmiany krzywizny. Dokładne dopasowanie względem siebie poszczególnych pomiarów takiego obiektu powoduje problemy – tym większe, im skaner ma mniejszą rozdzielczość (rys. a–b). Dlatego pomiary urządzeniami o większej rozdzielczości są bardziej dokładne (rys. c–d).

W przypadku pomiarów sensorem Kinect największe odchyłki wystąpiły na granicy między przednią i tylną częścią obudowy, w miejscu, w którym znajduje się obramowanie zwierciadła lusterka. Siatka trójkątów jest tworzona na bieżąco podczas pomiaru, może więc dochodzić do powstawania błędów w trakcie przemieszczania się sensora od tylnej do przedniej strony obiektu, ponieważ mają one małą powierzchnię wspólną. Jest to dobrze widoczne na rys. e–f. Wnętrza kilku płatów powierzchni (oznaczone strzałkami) o mniejszej wartości krzywizny zostały zeskanowane ze zdecydowanie lepszą dokładnością (ok. $\pm 0,3$ mm) niż reszta obudowy lusterka.

Pomiary za pomocą fotogrametrii były najmniej dokładne ze wszystkich analizowanych (tablica). Praktycznie na całej obudowie lusterka wystąpiły duże odchyłki – zwłaszcza na gładkich fragmentach i w pobliżu promieni zaokrągleń. Zwraca uwagę ich duża zmienność (ponad ± 1 mm). Najprawdopodobniej program generujący wynikową geometrię ze zdjęć miał problemy z ich poprawnym analizowaniem. Niestety program nie informuje, pod jakim kątem najlepiej robić zdjęcia (np. bardziej od góry), co by pomogło w ich pozycjonowaniu. Najmniejsze wartości odchyłek odnotowano na podstawie lusterka (rys. g).

Z analiz wynika, że przy wyborze metody pomiaru bezstykowego należy brać pod uwagę: kształt, wymiary oraz lokalizację mierzonego obiektu, a także koszty, czasochłonność i niepewność pomiaru. Istotne jest również doświadczenie osoby wykonującej pomiary skanerem 3D.

Na podstawie wyników skanowania obudowy lusterka [5] oraz innych obiektów mierzonych przez autorów można stwierdzić, że każda z analizowanych w artykule metod pomiarów sprawdza się w innej sytuacji:

- skanowanie głowicą laserową – w przypadku małych obiektów, gdy wymagana jest duża dokładność pomiaru rzędu 0,01 mm (możliwość kontroli jakości produkowanych części);
- skanowanie skanerem światła strukturalnego – w przypadku obiektów o wielkości od kilkudziesięciu milimetrów do 2–3 m, również znajdujących się w terenie, przy dokładności pomiaru poniżej 0,05 mm (przy rozdzielczości 10 Mpx) – takie urządzenia znajdują często zastosowanie w inżynierii odwrotnej i archiwizacji;
- skanowanie sensorem Kinect – w przypadku obiektów o wielkości kilku metrów (3–4 m); pomiar jest szybki, ale bardzo mało dokładny;
- fotogrametria – do obiektów o dowolnej wielkości, również w terenie (dokładność zależy od kształtu).

LITERATURA

1. Wszolek A. „Dokładność skanera 3D”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie*. Nr 5 (2014): s. 12.
2. Ostrowska K., Szewczyk D., Śladek J. „Wzorcowanie systemów optycznych zgodnie z normami ISO i zaleceniami VDI/VDE”. *Czasopismo Techniczne. Mechanika*. Z. 9-M (2012): s. 167–179.
3. Juras B., Szewczyk D. „Dokładność pomiarów realizowanych skanerem optycznym”. *Postępy Nauki i Techniki*. Nr (2011): s. 29–36.
4. Gębarski K., Jasiński D. „Dokładność metrologiczna bezdotykowego skanera 3D według normy VDI/VDE 2634 – przykłady pomiarów certyfikowanym, polskim skanerem 3D firmy SMARTTECH”. *Mechanik*. Nr 2 (2014): CD.
5. Siemiński P., Derejczyk K. „Analiza kilku popularnych metod skanowania 3D na przykładzie pomiarów dwóch typów kształtów”. Plakat na *XIII Forum ProCAX*, Chynów 11/2015: www.forum.procac.org.pl.
6. Smarttech: www.smarttech.pl i www.skaner3d.pl. (dostęp: 11.2015).
7. Smart Solutions: www.smart-solutions.pl (dostęp: 11.2015).
8. Xbox: www.xbox.com/pl-PL/xbox-one/accessories (dostęp: 11.2015).
9. www.ifixit.com/Teardown/Microsoft-Kinect-Teardown/4066 (dostęp: 11.2015).
10. Autodesk 123d Catch: www.123dapp.com/catch (dostęp: 11.2015). ■