

Barbara JURAS, Jerzy SŁADEK, Danuta SZEWCZYK
LABORATORIUM METROLOGII WSPÓLRZĘDNOŚCIOWEJ, POLITECHNIKA KRAKOWSKA,
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

Możliwość identyfikacji błędów kształtu przy wykorzystaniu skanera optycznego

Dr inż. Barbara JURAS

Specjalizuje się w metrologii współrzędnościowej, a szczególnie w ocenie dokładności pomiaru zarysów o zmiennej krzywiznie swobodnie kształtowanych powierzchni. Interesuje się też współrzędnościowymi pomiarami kół zębatych. Należy do zespołu akredytowanego laboratorium wzorującego w zakresie wzorcowania współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Członek sekcji Inżynierii Jakości i Diagnostyki Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN.

e-mail: juras@mech.pk.edu.pl



Mgr inż. Danuta SZEWCZYK

Doktorantka Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej. Absolwentka Kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Tematyka, którą porusza w swoich badaniach to współrzędnościowa ocena dokładności odwzorowań powierzchni realizowanych systemami skanującymi. Interesuje się też stosowaniem symulatorów w nauczaniu i obsłudze systemów współrzędnościowych. Asystent Systemu Zarządzania Jakością wg. kryt. PCBC S.A.

e-mail: dszewczyk@mech.pk.edu.pl



Dr hab. inż. Jerzy SŁADEK

Zorganizował na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej jedno z najlepszych w Europie laboratoriów -Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej, działające jako akredytowane przez PCA laboratorium wzorujące. Jest autorem kilkuset prac naukowych i metrologicznych oraz trudnych wzorcowań dla przemysłu. Wypromował 8 doktorów nauk technicznych o specjalności metrologia współrzędnościowa. Kierował kilkunastoma krajowymi i zagranicznymi grantami naukowymi i rozwojowymi.

e-mail: sladek@mech.pk.edu.pl



Streszczenie

Przedstawiono możliwości analizy wyników pomiarów realizowanych systemami optycznymi z uwzględnieniem wybranych oprogramowań. Szczegółnej analizie poddano pomiary wykonane skanerem optycznym współpracującym z ramieniem pomiarowym. Pokazano jak funkcje oprogramowania specjalistycznego takie: filtracja chmury punktów, wygładzanie, obliczenia, umożliwiają kształtowanie wyniku pomiaru. Zwrócono uwagę na racjonalny dobór stosowanych opcji oprogramowania oraz właściwe wykorzystanie narzędzi do obróbki zbioru danych, kształtujących błąd odwzorowania mierzonej powierzchni.

Słowa kluczowe: pomiar współrzędnościowy, pomiary optyczne, błąd kształtu.

Possibilities of shape error identification using optical scanner

Abstract

The paper presents possibilities of analysing the results obtained from measurements realised with optical systems and selected software. The measurement results of a laser scanner cooperating with a measuring arm were analysed in detail. The usage of available system options: point cloud filtering, smoothing and computation allows shaping the final measurement result. Misuse of tools for data processing can lead to large mapping errors. In order to choose the optimal filtering of measurement points and the method for developing the measurement results of a laser scanner, comparative measurements on a coordinate measuring machine were taken. Possibilities of identification shape errors were considered on example of measurements the spherical surface shape. In our studies the cooperation between measurement systems with CAD systems was used. Section 2 presents chosen software for point cloud processing with their functions. The measuring arm collaborating with a laser scanner is characterized in Section 3. Section 4 presents measurements taken with an optical scanner and methods for shape error identification with the best shape element, CAD model and reference cloud application. Conclusions and areas of development are given in Section 5.

Keywords: coordinate measurement, optical measurement, shape error.

1. Wstęp

Współrzędnościowa technika pomiarowa, rozwija się intensywnie w kierunków systemów multisensorycznych rozszerzając zakres zastosowań w obszarze kontroli wymiarowo kształtowej oraz obrazowania obiektów przestrzennych [1, 2, 3]. Istotne miejsce zajmują tu systemy mobilne – takie jak ramiona pomiarowe z systemami skanerów optycznych wyposażanych w coraz lepsze rozwiązania techniczne i programowe rejestracji i analizy obrazu. Dlatego ważne jest opracowanie metodyki oceny dokładności optycznych systemów skanujących w zakresie odwzorowania mierzonych powierzchni [1, 4, 5, 6].

2. Oprogramowania do obróbki chmury punktów

Narzędziem do analizy wyników pomiaru są specjalne oprogramowania umożliwiające prace z chmurą punktów, należą do nich między innymi: Mesh 3D 4.2, Catia, PolyWorks V11, 3DReshaper, NX Unigraphics [1,7]

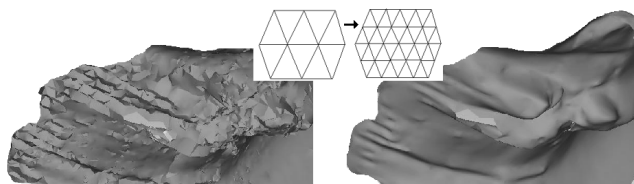
Zarówno 3DReshaper jak i PolyWorks posiadają zbiór zaawansowanych opcji służących do tworzenia kompleksowych raportów pomiarowych. Pozwalają one na dopasowanie zeskanowanych obiektów i porównanie ich z zaimportowanym modelem CAD głównie z formacie IGES. PolyWorks dodatkowo posiada rozbudowany moduł IMInspect, który pozwala wykonać analizę GD&T (Geometric Dimensioning & Tolerancing). Istotą wspomnianej analizy jest pełne sprawdzenie wymiarów wraz z naniesionymi tolerancjami geometrycznymi [1, 8].

W przypadku oprogramowań do pracy z chmurą punktów, dane są pobierane z różnych systemów lub technologii wykorzystywanych do pomiarów: skanery 3D, CMM lub lasery punktowe. Praca z danymi zaimportowanymi do komputera na przykładzie oprogramowania 3DReshaper rozpoczyna się od usunięcia obszarów które wyraźnie odbiegają od całości. Następnie przeprowadza się filtrację począwszy od redukcji szumów (noise reduction), wyrzucenia najgorszych punktów (explode with distance) lub losową redukcję w celu ograniczenia ilości danych, a ostatecznie określa układ współrzędnych. Tak przygotowana chmura jest gotowa do analizy [7, 9].

Kolejnym etapem jest stworzenie sieci (meshing) przy wykorzystaniu algorytmu triangulacji. Poszczególne firmy stosują różne modyfikacje algorytmów obliczeniowych, ale nie są one publikowane. Staje się to przyczyną uzyskiwania różnych rezultatów pomimo tych samych danych wejściowych, co w warunkach przemysłowych może skutkować błędnym przekonaniem o niedostatecznej jakości procesu produkcyjnego nie biorąc pod uwagę, że przyczyna może tkwić w oprogramowaniu [1, 10]. Do grona algorytmów triangulacji w głównej mierze zaliczyć można algorytmy wykorzystujące schemat Delaunay. Jego głównym założeniem

niem jest tworzenie czworościanów z opisanymi na nich okręgami zawierającymi tylko i wyłącznie ich wierzchołki bez dodatkowych punktów [11, 12]. Kolejną grupę stanowią algorytmy realizujące bezpośrednią triangulację, przykładowo algorytm minimalnych sfer (ang. „the ball pivoting”) którego zasada działania polega na budowaniu trójkątów z trzech najbliższych położonych względem siebie punktów należących do sfery o zadanym promieniu, do której nie należą żadne inne punkty. Proces tworzenia siatki polega na obracaniu sfery wokół krawędzi trójkąta zarodkowego do czasu napotkania nowego punktu, który następnie staje się wierzchołkiem kolejnego trójkąta zbudowanego z punktami tworzącymi oś obrotu sfery. Trwa to do momentu wykorzystanie wszystkich możliwych krawędzi [4, 13].

Po stworzeniu sieci obróbka danych może trwać dalej, dzięki dodatkowym możliwościom dostarczonym przez producentów. W przypadku oprogramowania 3DReshaper można skorzystać z interesującego narzędzia jakim jest super smoothing polegający na zwiększeniu ilości trójkątów, dzięki czemu uzyskuje się efekt wygładzenia powierzchni [7, 9].



Rys. 1. Efekt narzędzia super smoothing
Fig. 1. Super smoothing

Podsumowując: można wpływać na kształty otrzymane z chmury punktów, pytanie czy możliwe jest identyfikowanie ich błędów?

3. Ramię z głowicą skanującą jako narzędzie do szybkich pomiarów

W pomiarach zostało wykorzystane kompletne rozwiązanie zaproponowane przez firmę Romer w postaci ramienia pomiarowego Omega 2025, głowicy skanującej R-SCAN RX2 i oprogramowania 3D Reshaper.

Pomiar z użyciem głowicy R-Scan RX2, sondy z przetwornikiem laserowym pracującej bezstykowo, polega na lokalizacji punktów pomiarowych w oparciu o zasadę wyznaczania odległości zaczerpniętej bezpośrednio z geometrii. Podstawą do wyliczenia powierzchni pomiarowych jest wykorzystanie metody triangulacji polegającej na projekcji plamki lasera na powierzchni pomiarowej i jej obserwacji za pomocą układu optycznego przy użyciu sensorów CCD działających jako detektor natężenia światła. Dokładność kamery według danych producenta wynosi 0,07 mm, maksymalna prędkość skaningu to 20 linii/s przy 640 punktach na linię. Głowica współpracuje z ramieniem pomiarowym posiadającym system nieograniczonego obrotu, enkodery o bardzo wysokiej rozdzielczości, dużą sztywność oraz stabilność konstrukcji dzięki wykorzystaniu włókna węglowego [8]. Zakres pomiarowy użytego ramienia wynosi 2500 mm przy dokładności pomiaru długości $\pm 0,068$ mm. Trzy podstawowe elementy wpływające na dokładność realizowanych pomiarów to: kamera i system nośny w postaci ramienia oraz oprogramowanie do obróbki chmury punktów wykorzystane w prezentowanym systemie pomiarowym.

4. Pomiar z wykorzystaniem skanera optycznego

Pomiar przy wykorzystaniu skanera optycznego można podzielić na trzy etapy: pozyskanie chmury punktów, obróbka chmury (czyszczenie, filtracja, triangulacja, wygładzanie itp.) i obliczenie charakterystycznych cech geometrycznych.

Na jakość pozyskanej chmury punktów w istotny sposób wpływa stan mierzonej powierzchni, a w szczególności jej refleksyjność. Najlepsze wyniki uzyskuje się w przypadku pomiarów

powierzchni matowych. Powierzchnie błyszczące należy pokrywać odpowiednimi proszkami zmniejszającymi ich refleksyjność. Błędne punkty, będące skutkiem refleksów na powierzchni mogą być eliminowane w wyniku właściwie prowadzonego procesu filtracji danych pomiarowych. Filtracja poprzedzona powinna zostać procesem czyszczenia eliminującym zeskanowane fragmenty mocowania czy tła.

Podstawowy sposób filtracji to redukcja szumów, której kryterium jest oparte o zagęszczenie punktów i polega na usuwaniu punktów z niewielkich skupisk, najbardziej oddalonych od punktów środkowych dla danych grup.

Każda z operacji przetwarzania zbioru punktów przedstawiona jest graficznie, a jako wynik działań podana zostaje liczba punktów wyeliminowanych.

Innym sposobem eliminacji punktów jest działanie losowe. Stosowane jest w przypadku konieczności ograniczenia liczby punktów bez wyraźnego wskazania, które z punktów powinny być usunięte. Dla tak prowadzonego sposobu filtracji jej wpływ na wynik końcowy pomiarów jest najmniejszy.

Dla podstawowych kształtów możliwe jest wyliczenie elementów średniokwadratowych. Dla takich obiektów dostępnym sposobem filtracji jest odrzucenie punktów najbardziej oddalonych od elementu średniego. Jest to eliminacja, która powinna być stosowana szczególnie ostrożnie. Niewłaściwe wykorzystanie tego narzędzia może prowadzić do zafałszowania informacji o rzeczywistym kształcie digitalizowanego obiektu.

Filtracja zmienia charakter danych wejściowych nie pozostając bez wpływu na końcowy wynik kontroli. Zmiana liczby punktów spowodowała zmianę wartości średnicy elementu wyznaczoną za pomocą metody najmniejszych kwadratów [7, 9].

Z badań przeprowadzonych przez autorów wynika także, że obiekty o różnych krzywiznach odwzorowane są z różną dokładnością. W zależności od wartości promienia krzywizny jego wartość zostaje zanizowana lub zwiększona.

4.1. Identyfikacja błędów kształtu z wykorzystaniem elementu najlepszego dopasowania

Jak wspomniano powyżej dla prostych kształtów geometrycznych dostępne jest wykorzystanie obliczeń elementu zastępczego Gaussa. Możliwe jest wtedy uzyskanie informacji o charakterystycznych parametrach np. średnicy i położeniu oraz odległości punktów najbardziej oddalonych od elementu średniego. Przed takim dopasowaniem chmura punktów powinna zostać przefiltrowana z wykorzystaniem redukcji szumów. Wyniki obliczeń przedstawione zostają w formie graficznej i analitycznej. Informację o błędach kształtu można wyciągnąć z wykresów obrazujących rozkład odchylek w poszczególnych punktach. Oprogramowanie Reshaper3D wykorzystane w zrealizowanych badaniach, pozwala w dowolny sposób stosować różne sposoby filtracji danych i ich przeliczania z możliwości cofnięcia się do dowolnego kroku analizy.

W poprzednim paragrafie zwrócono uwagę na zmianę krzywizny wyznaczonej powierzchni będąca skutkiem błędów wykorzystywanej metody pomiarowej. Wpływ ten widoczny jest wyraźnie dla pomiaru powierzchni płaskiej. Na brzegach obszaru objętego pomiarem, błędy przejętych współrzędnych punktów pomiarowych są największe. Powierzchnia płaska zobrazowana została jak powierzchnia o znacznym zakrzywieniu.

4.2. Identyfikacja błędów kształtu z wykorzystaniem modelu CAD

Bardzo wygodną formą identyfikacji błędów wykonania jest odniesienie obiektów rzeczywistych do ich numerycznych modeli. Porównanie takie jest szczególnie korzystne dla obiektów o kształtach skomplikowanych. Istotnym krokiem tak prowadzonej analizy jest nasunięcie na siebie porównywanych elementów. Dla obiektów, gdzie układ współrzędnych modelu i chmury są inne,

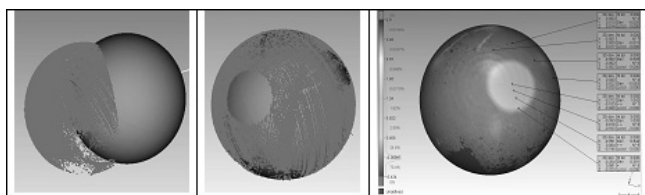
do końcowego wyniku dochodzi się w trzech etapach: zgrubnego dopasowania, best-fit i właściwej oceny.

Szczególnie chętnie wykorzystywane narzędzie właściwego ustawienia modelu i skanu obiektu „best fit” dopasowujący chmurę punktów do modelu przez minimalizację sumy kwadratów odległości punktów pomiarowych od modelu w przypadkach, dla których pomiarem objęto tylko fragment elementu należy używać ostrożnie, gdyż może ono prowadzić do dużych błędów.

Bardzo dobrym rozwiązaniem, aczkolwiek nie zawsze możliwym, jest realizacja pomiarów skanerem w układzie współrzędnych zgodnym z układem modelu CAD. W przypadku wykorzystanego przez autorów systemu pomiarowego wiąże się to z realizacją wstępnych pomiarów głowica stykową i budowa układu na podstawie tak pozyskanych danych.

Wartości odchyłek w punktach charakterystycznych w stosunku do modelu CAD mogą zostać zobrazowane na protokole pomiarowym w postaci etykiet (rys. 2).

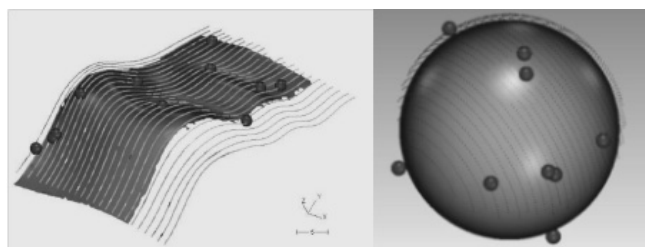
O wartościach odchyłek w stosunku do modelu najczęściej informacji uzyskuje się z wykresu odchyłek z ich procentowym udziałem. Wyciągnięcie wartości w wybranych punktach z ich zobrazowaniem na etykietach daje możliwości przybliżonego wskazania punktów ekstremalnych.



Rys. 2. Opracowanie wyników modelem CAD
Fig. 2. Description of CAD model results

4.3. Identyfikacja błędów kształtu z wykorzystaniem chmury referencyjnej

W ocenie kształtu obiektu wykorzystane mogą zostać dane z digitalizacji przeprowadzonej na elemencie odniesienia zarówno wykonane skanerem optycznym jak też zrealizowane technikami stykowymi. Wykorzystanie danych z pomiarów stykowych zrealizowanych systemami współrzędnościowymi wymaga przeprowadzenia korekcji promieniowej podczas dopasowywania do siebie zbiorów punktów (rys. 3).

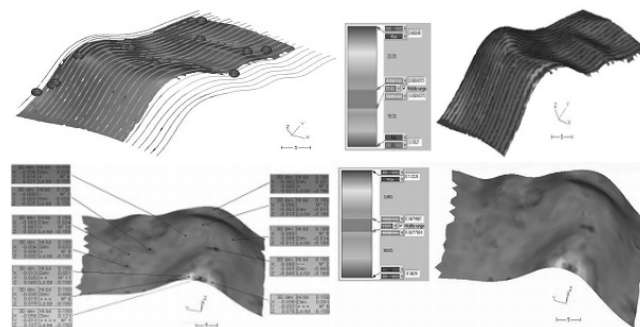


Rys. 3. Korekcja promienia końcówki pomiarowej dla danych z WMP
Fig. 3. Correction of measuring tip radius for the data from CMM

5. Wnioski

Wykorzystanie skanera optycznego pozwala głównie na ocenę jakościową występujących na obiektach odchyłek kształtu oraz wskazanie miejsc o największych błędach.

Pomimo bardzo dużej liczby punktów pomiarowych pozyskanych ze skanera, filtracja może zmienić zarówno wymiary jak też położenie obiektów w sposób istotny. Powoduje ona zmiany w wartości średnicy, współrzędnych środka i największych odległości punktów od powierzchni odniesienia. Nadmierne stosowanie filtracji punktów może przyczynić się do utraty informacji o faktycznych kształtach mierzonego przedmiotu.



Rys. 4. Ocena kształtu element w stosunku do chmury referencyjnej
Fig. 4. Element shape estimation with the reference cloud

Zaleca się łączne stosowanie metod filtracji: począwszy od wyrzucenia najgorszych punktów, redukcji szumów i w razie konieczności redukcji liczby punktów.

Wykorzystanie jako elementu odniesienia w trakcie oceny elementu referencyjnego np. modelu CAD dodatkowo wymaga właściwego usytuowania układów współrzędnych [9, 14]. Z otrzymanych wyników wynika, iż pomimo bardzo dużej liczby punktów i oczekiwanego związanego z tym faktem uśrednienia, końcowe wyniki pomiarów niepewności dla badanych obiektów przekroczyły podaną dokładność systemu. Co wydaje się oczywiste z uwagi na sposób jej określenia.

W przypadku realizacji określonych zadań pomiarowych ocena niepewności pomiarów realizowanych skanerem powinna być wykonywana indywidualnie do danego zadania pomiarowego.

6. Literatura

- [1] Rodger G, Flack D, MacCarthy M: A review of industrial capabilities to measure free-form surfaces - NPL REPORT - DEPC-EM 014 Jan 2007.
- [2] Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [3] Christoph R, Neumann HJ: Multisensor-Koordinatenmesstechnik - Landsberg Moderne Industrie 2006.
- [4] Sitnik R. Karaszewski M.: Optimized point cloud triangulation for 3D scanning systems. Graphics & Vision International Journal. Polish Academy of Sciences Warsaw, Vol.17 Issue, 2008.
- [5] 3DReshaper - Manual - Romer/Hexagon. Technodigit, Gleize/France 2009.
- [6] Śladek J., Błaszczak P.M., Kupiec M., Sitnik R.: The hybrid contact-optical coordinate measuring system Elsevier - Measurement 44 (2011)503 – 510.
- [7] Juras B., Szewczyk D.: Dokładność pomiarów realizowanych skanerem optycznym. Postępy nauki i techniki, Politechnika Lubelska, 7/2011.
- [8] http://facility.unavco.org/project_support/polar/support/TLS/PolyWorksBeginnersGuide.pdf
- [9] Szewczyk D.: Stykowe i bezstykowe systemy pomiarów współrzędnościowych. Analiza dokładności odwzorowania powierzchni przez pomiary porównawcze- Praca Dyplomowa, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, 2010.
- [10] Christoph R, Neumann HJ: Multisensor-Koordinatenmesstechnik - Landsberg Moderne Industrie 2006.
- [11] Lattuada R., Raper J.: Applications of 3D Delaunay triangulation algorithms in geoscientific modelling, Geometry In Action, 1999.
- [12] Cheng S.W., Dey T.K.: Delaunay Meshing of Surfaces and Volumes: Algorithms and Mathematical Analysis, 2000.
- [13] Bernardini F., Mittleman J., Rushmeier H., Silva C., Taubin G.: The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 5(4), 349-359, 1999.
- [14] Śladek J., Ostrowska K., Olszewska M., Gąska A., Ryniewicz A.: Metody oceny dokładności pomiarów realizowanych za pomocą ramion pomiarowych wyposażonych w optyczne głowice skanujące. Materiały pokonferencyjne, XIV Krajowa i V Międzynarodowa Konferencja Naukowo- Techniczna „Metrologia w Technikach Wytwarzania” „Metrology in production” 12-14.09.2011 Warszawa, Pułtusk.