

System prognozowania dokładności pomiaru z wykorzystaniem symulatora współrzędnościowej maszyny pomiarowej oraz jej wirtualnego modelu dokładności

The system of measurement accuracy prediction, based on Coordinate Measuring Machine simulator and its virtual model

ADAM GAŚKA
MACIEJ GRUZA
PIOTR GAŚKA
WIKTOR HARMATYS
JERZY SŁADEK*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.3.25

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAX 2015

Prezentowany system służy do oceny dokładności pomiarów, zanim zostaną one wykonane w rzeczywistym systemie pomiarowym. Głównym elementem systemu jest wirtualny model maszyny pomiarowej, umożliwiający wielokrotne przeprowadzanie symulacji pomiaru, a następnie – na podstawie jej wyników – ocenę dokładności symulowanego pomiaru.

SŁOWA KLUCZOWE: metody oceny dokładności pomiaru, współrzędnościowa maszyna pomiarowa, metody symulacyjne oceny dokładności, wirtualna współrzędnościowa maszyna pomiarowa

The system presented in the article is designed to assess the accuracy of the measurements before they are implemented on a real measurement system. The main component of the system is a virtual model of measuring machine. It allows to estimate the measurement uncertainty due to multiple simulation of measuring task.

KEYWORDS: measurement uncertainty estimation methods, coordinate measuring machine, simulation method of measurement uncertainty, virtual coordinate measuring machine

W dobie gwałtownego rozwoju technik wytwarzania oraz postępującej miniaturyzacji kwestią niezwykle istotną staje się poprawne orzekanie o zgodności wymiarowej wyrobu ze specyfikacją geometrii. Kluczową rolę odgrywa tu odpowiednie wyrażenie dokładności pomiaru, ponieważ jego wyniki bez podania informacji o dokładności, z jaką zostały uzyskane, są bezużyteczne.

W przypadku przyrządów używanych do oceny jednego rodzaju wymiaru za miarę dokładności może posłużyć maksymalny błąd dopuszczalny (MPE) – określający największy błąd, jaki może wystąpić przy pomiarze danym urządzeniem. Jednak w przypadku techniki współrzędnościowej, w której dane urządzenie jest wykorzystywane do oceny różnego rodzaju wymiarów (np. długości, kąta czy odchyłki kształtu), tak określona dokładność może się znacząco różnić od dokładności rzeczywistego zadania pomiarowego [1].

Bardziej poprawnym podejściem jest wyrażenie dokładności konkretnego zadania pomiarowego poprzez określenie niepewności pomiaru. Metody jej szacowania w technice współrzędnościowej wymagają często użycia specjalistycznych wzorców, wielokrotnych powtórzeń oraz dużej wiedzy personelu obsługującego system współrzędnościowy [2, 3]. Z tych powodów rzadko są stosowane w praktyce przemysłowej.

Sytuacja ta może ulec zmianie dzięki zastosowaniu metod symulacyjnych, których działanie jest oparte na modelu dokładności maszyny pomiarowej (maszyny wirtualnej).

Dodatkowo metody symulacyjne można wykorzystać do predykcji optymalnego umiejscowienia przedmiotu mierzonego w przestrzeni pomiarowej maszyny, tak aby uzyskana niepewność pomiaru była możliwie najmniejsza, a co za tym idzie, ryzyko podjęcia błędnej decyzji w procesie kontroli jakości – zminimalizowane.

W artykule zaprezentowano opracowany na Politechnice Krakowskiej system do przewidywania niepewności pomiaru. W jego skład wchodzi symulator maszyny pomiarowej, służący do projektowania ścieżki pomiarowej oraz symulowania zmian położenia przedmiotu w przestrzeni maszyny, a także wirtualny model dokładności rozpatrywanej maszyny, wykorzystywany do przeprowadzenia wielokrotnej symulacji pomiaru, a następnie – na podstawie otrzymanych wyników – oceny jego dokładności.

Koncepcja systemu do prognozowania dokładności pomiaru współrzędnościowego

Jak wskazano we wstępie, poprawne orzekanie o zgodności wymiarowej obiektu ze specyfikacją geometrii wyrobu ma kluczowe znaczenie we współczesnej kontroli jakości. W przypadku techniki współrzędnościowej ryzyko podjęcia błędnych decyzji może zostać ograniczone poprzez zaplanowanie pomiaru w taki sposób, aby jego niepewność była jak najmniejsza.

Żaden z dostępnych na rynku systemów komputerowego wspomaganie strategii pomiarowej [4, 5] nie uwzględnia dokładności pomiaru systemu pomiarowego. Z tego powodu autorzy postanowili opracować koncepcję systemu pozwalającego na określenie niepewności pomiaru przed jego przeprowadzeniem na realnej maszynie, aby po analizie potencjalnych strategii pomiarowych możliwy był wybór gwarantujący najlepszą dokładność.

System składa się z dwóch podstawowych elementów: symulatora współrzędnościowej maszyny pomiarowej oraz jej wirtualnego modelu dokładności. Symulator pozwala użytkownikowi na zadeklarowanie odpowiednich zadań pomiarowych poprzez wskazanie położenia punktów pomiarowych oraz określenie wymiarów poddawanych inspekcji.

Przykładem symulatora współrzędnościowej maszyny pomiarowej jest Simulator I++. Wykorzystuje on uniwersalny protokół komunikacyjny I++, który współpracuje z najpopularniejszymi programami metrologicznymi, takimi jak Quindos czy Calypso. Dzięki zastosowaniu symulatora możliwe jest napisanie programu pomiarowego, a następnie implementowanie go na rzeczywistą maszynę współrzędnościową.

Drugim elementem systemu predykcji jest wirtualny model dokładności maszyny opracowany w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej. Składa się on z dwóch modułów. Pierwszy z nich odpowiada za modelowanie błędów pochodzących z układu kinematycznego

* Dr inż. Adam Gaśka (agaska@mech.pk.edu.pl), mgr inż. Maciej Gruza (gruzam@interia.pl), mgr inż. Piotr Gaśka (pjpgaska@gmail.com), mgr inż. Wiktor Harmatys (wiktorharmatys@gmail.com), prof. dr hab. inż. Jerzy Sładek (sladek@mech.pk.edu.pl) – Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej

maszyny. Bazuje na wyznaczanych doświadczalnie rozkładach błędów resztkowych, czyli takich, które nie zostały skompensowane przez system korekcji maszyny. Błędy te są badane z użyciem laserowego systemu nadążnego Laser-Tracer w wybranych punktach przestrzeni pomiarowej maszyny, tworzących siatkę punktów odniesienia. Drugi moduł odpowiada za symulację błędów głowicy pomiarowej. Zasada jego działania opiera się na powiązaniu błędów głowicy z kierunkiem najazdu na punkt pomiarowy. Dane potrzebne do przygotowania modelu otrzymuje się poprzez pomiar wzorca sferycznego w odpowiedniej liczbie równomiernie rozłożonych punktów. Sposób działania maszyny wirtualnej został opisany w [6].

Badania oraz otrzymane rezultaty

Celem autorów było sprawdzenie przydatności Maszyny Wirtualnej PK (Virtual MMC PK) do prognozowania optymalnego położenia przedmiotu mierzonego w przestrzeni pomiarowej. Jako kryterium przyjęto minimalną wartość sumy niepewności pomiarowych wszystkich cech poddawanych ocenie.

Wybrano trzy położenia przedmiotu mierzonego w przestrzeni pomiarowej, rozłożone równomiernie wzdłuż jednej z przekątnych stołu pomiarowego maszyny współrzędnościowej (patrz rysunek). Położenie oraz zamocowanie elementu zostały tak wybrane, aby możliwie wiernie odwzorować podobną sytuację w przemyśle w warunkach laboratoriów czy izb pomiarowych.

Badania zakładały opracowanie programów pomiarowych oraz przeprowadzenie pomiarów na modelu CAD przedmiotu w środowisku symulatora współrzędnościowych maszyn



Rys. Trzy położenia przedmiotu (od lewej): przód, środek, tył

TABLICA. Wartości niepewności pomiarowych $U(x)$ mierzonych cech w zależności od metody szacowania oraz pozycji

Pozycja	Cecha	Metoda porównawcza	Virtual MMC PK	Różnica
		$U(x)$, μm	$U(x)$, μm	Metoda porównawcza – Virtual MMC PK, μm
Przód	Odległość	0,6	0,8	-0,2
	Średnica	0,8	0,6	0,2
	Błąd kształtu	1,8	1,7	0,1
	Suma	3,2	3,1	0,1
Środek	Odległość	0,9	1,1	-0,2
	Średnica	1,4	1,0	0,4
	Błąd kształtu	2,8	2,0	0,8
	Suma	5,1	4,1	1,0
Tył	Odległość	0,5	0,6	-0,1
	Średnica	1,4	0,9	0,5
	Błąd kształtu	1,7	1,5	0,2
	Suma	3,6	3,0	0,6

pomiarowych – Simulator I++. Dla każdej z trzech pozycji zapisano punkty pomiarowe, na podstawie których, dzięki zastosowaniu Maszyny Wirtualnej PK, możliwe jest oszacowanie niepewności pomiarowej wszystkich mierzonych cech. Niepewności otrzymane dla każdej pozycji zostały zsumowane, co pozwoliło na określenie optymalnej pozycji elementu w przestrzeni pomiarowej.

Aby ocenić poprawność użycia Maszyny Wirtualnej PK do prognozowania optymalnej lokalizacji w przestrzeni pomiarowej, należało przeprowadzić te same pomiary na rzeczywistej maszynie oraz oszacować ich niepewność jedną z uznanych metod oceny niepewności pomiarów współrzędnościowych.

Pomiary przeprowadzono na maszynie portalowej Zeiss WMM 850, a wszystkie parametry pomiaru ustawiono tak jak na symulatorze. Ponieważ w warunkach przemysłowych przeprowadza się zwykle pomiar w jednej pozycji, do wyznaczenia niepewności wybrano metodę porównawczą.

Wyniki eksperymentu przedstawiono w tablicy. W kolumnach znajdują się niepewności badanych cech oszacowane z wykorzystaniem metody porównawczej oraz symulacyjnej. Wyniki podzielono na trzy pozycje – przednią, środkową oraz tylną.

Wnioski

Na podstawie zaprezentowanych wyników można stwierdzić, że wartości niepewności szacowane obiema metodami są zbliżone. Maksymalna różnica pomiędzy wartościami niepewności pomiarowych poszczególnych cech wynosi 0,8 μm , natomiast średnia wartość różnicy wynosi 0,19 μm . Na podstawie tych wskaźników autorzy uznali system prognozowania dokładności pomiaru oparty na modelu symulacyjnym Virtual MMC PK za poprawny, zwłaszcza do wykorzystania w warunkach przemysłowych, gdzie wymagane niepewności pomiarów nie muszą być tak niskie, jak w laboratoriach wzorcujących.

W przypadku maszyny zastosowanej w eksperymencie najlepsze okazały się pozycje skrajne stołu pomiarowego, natomiast najmniej optymalna była pozycja środkowa. Wnioski te nasuwają się po zastosowaniu metody symulacyjnej Virtual MMC PK, a wyniki walidacji przeprowadzonej na realnej maszynie zachowują tę tendencję.

Podsumowując przeprowadzone badania, należy stwierdzić, że zastosowanie Maszyny Wirtualnej PK do prognozowania dokładności pomiaru jest zasadne, oraz że przeprowadzenie opisanej procedury wyznaczania optymalnego położenia w przestrzeni roboczej może mieć duży wpływ na zminimalizowanie niepewności pomiarowej mierzonych cech. System ten może okazać się szczególnie przydatny w warunkach przemysłowych ze względu na szybkość zastosowania oraz możliwość otrzymania wartości niepewności pomiarowych praktycznie *on-line*.

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, grant nr: LIDER/06/117/L-3/11/NCBR/2012.

LITERATURA

- Wilhelm R.G., Hocken R., Schwenke H. "Task Specific Uncertainty in Coordinate Measurement". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 50, Iss. 2 (2001): pp. 553-563.
- ISO/TS 15530-3:2004 GPS – Use of calibrated workpieces or standards.
- ISO/CD TS 15530-2 GPS – Use of multiple measurement strategies.
- Cho M.-W., Lee H., Yoon G.-S., Choi J. "A feature-based inspection planning system for coordinate measuring machines". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. No. 26 (2005): pp. 1078-1087.
- Hwang C.Y., Tsai C.Y., Chang C.A. "Efficient inspection planning for coordinate measuring machines". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. No. 23 (2004): pp. 732-742.
- Śladek J., Gąska A. "Evaluation of coordinate measurement uncertainty with use of virtual machine model based on Monte Carlo method". *Measurement*. No. 45 (2012): pp. 1564-1575. ■