

**Stefan DOMEK, Paweł DWORAK, Krzysztof OKARMA,
Krzysztof PIETRUSEWICZ**

Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny

Techniki wizyjne w automatyzacji procesu pozycjonowania przedmiotu obrabianego na frezarce sterowanej numerycznie

Streszczenie. *W artykule przedstawia się analizę możliwości wykorzystania technik analizy obrazu do usprawnienia systemów pozycjonowania detali obrabianych za pomocą obrabiarek sterowanych numerycznie. Dzięki wykorzystaniu proponowanego podejścia możliwe jest automatyczne pozycjonowanie obiektu w obrabiarce na różnych poziomach dokładności zależnie od potrzeb oraz wykorzystanych algorytmów. Dokładność systemu uwarunkowana jest zarówno rozdzielczością kamer, jak też warunkami oświetleniowymi oraz właściwą kalibracją jego elementów.*

Abstract. *The article presents the analysis of the possibilities of using image analysis techniques to improve the positioning systems for details in the numerically controlled machine tools. By utilizing the proposed approach the object in the machine can be automatically positioned at different levels of accuracy depending on the needs and the algorithms used. The accuracy of the system is contingent upon the resolution of both the cameras, as well as lighting conditions and the proper calibration of its components.. (Vision techniques in the automation process of positioning the workpiece in numerically controlled milling machine)*

Słowa kluczowe: techniki wizyjne, sterowanie maszyn CNC, automatyczne pozycjonowanie.

Keywords: vision techniques, CNC control, automatic positioning.

Wstęp

Nowoczesne obrabiarki CNC charakteryzują się stosunkowo wysokim stopniem automatyzacji procesów pomocniczych. Większość z nich posiada automatyczne magazyny wymiany narzędzi, niektóre zaś (szczególnie wykorzystywane w produkcji wielkoseryjnej) posiadają systemy automatycznego załadunku palet przedmiotowych.

W przypadku obrabiarek CNC wykorzystywanych w produkcji małoseryjnej i jednostkowej (gdy maszyna nie jest wyposażona w kosztowne systemy paletyzacyjne) istnieje konieczność pozycjonowania przedmiotu obrabianego w przestrzeni obróbkowej maszyny bezpośrednio na obrabiarce. Zwykle jest to proces sterowany manualnie przez operatora z zastosowaniem sondy pomiarowej lub czujników zegarowych mocowanych w uchwycie narzędziowym. W związku z tym, że po zamocowaniu przedmiotu obrabianego na stole roboczym maszyny, system CNC sterujący obrabiarką nie ma żadnych informacji o jego gabarytach i położeniu, automatyzacja procesu pozycjonowania przedmiotu jest utrudniona, a manualne sterowanie tym procesem zdecydowanie wydłuża zabieg pozycjonowania i pogarsza efektywność procesu obróbki.

Alternatywnym podejściem do automatyzacji procesu pozycjonowania i pomiaru przedmiotu obrabianego może być zastosowanie technik wizyjnych, które z coraz większym powodzeniem wykorzystywane są w procesie skanowania geometrii obiektów oraz pomiarach ich położenia w przestrzeni, w różnych dziedzinach techniki takich jak geodezja, kartografia, medycyna czy technika filmowa i telewizyjna. System wizyjnego pozycjonowania i pomiaru obrabianych detali ma znacznie wyższy potencjał z punktu

widzenia możliwości automatyzacji procesu ustawiania przedmiotów obrabianych na obrabiarce, w szczególności w przypadku zastosowania odpowiednio zaprojektowanego otwartego systemu sterowania obrabiarki, umożliwiającego dokonanie integracji pomiarowego systemu wizyjnego z systemem sterowania CNC, dzięki czemu możliwe jest bezpośrednie przekazywanie do systemu sterowania obrabiarki odpowiednich danych identyfikujących geometrię i pozycję przedmiotu obrabianego w jej przestrzeni obróbkowej. Efektywne wykorzystanie technik wizyjnych umożliwia budowę obrabiarki "inteligentnej", czyli maszyny samoczynnie nadzorującej zachodzące w niej procesy dynamiczne i aktywnie wspomagającej operatora w jej obsłudze.

W ostatnich latach badania nad możliwością zastosowania systemów wizyjnych w metrologii warsztatowej są bardzo intensywnie rozwijane. Systemy wizyjne znajdują coraz szersze pole zastosowań w szeroko pojętej metrologii oraz w praktyce produkcyjnej do wydajnej kontroli wytwarzanych elementów w produkcji wielkoseryjnej, gdzie szybkość i efektywność pomiarów odgrywa kluczową rolę. Przykładem zastosowania systemów wizyjnych w odniesieniu do obrabiarek CNC jest pomiar geometrii narzędzi obróbkowych z zastosowaniem specjalnych ustawiaaków narzędzi. Ustawiaaki tego typu [1] wyposażane są w odpowiednio oprogramowany system wizyjny umożliwiający dokonanie między innymi pomiaru średnicy narzędzia i długości wysunięcia z wrzeciona narzędziowego (czyli ustalenia współrzędnych krawędzi skrawających narzędzia) i ustalenia odpowiednich współczynników korekcyjnych dla programu obróbkowego uwzględniających wymiary narzędzia. Na rynku istnieją już systemy laserowo-optyczne montowane bezpośrednio na obrabiarkach (np. sonda narzędziowa firmy RENISHAW [2]), sprzężone z systemem sterowania CNC obrabiarki, umożliwiające przeprowadzenie pomiaru narzędzia zamocowanego we wrzecionie maszyny. Urządzenia tego typu pozwalają przekazać do systemu CNC obrabiarki informacje o geometrii narzędzia obróbkowego.

Na rynku dostępne są już komercyjne systemy wizyjnego skanowania geometrii przedmiotów: od prostych urządzeń o mniejszej dokładności, wykorzystywanych w grafice komputerowej, po zaawansowane systemy pomiarowe (np. system ATOS firmy GEOM [3]) wykorzystywane w zagadnieniach technicznych, uzyskujące rozdzielczość skanowania na poziomie 20 μ m.

System automatycznego pozycjonowania na obrabiarce CNC

Stanowisko badawcze umożliwiające weryfikację przydatności i celowości zastosowania technik wizyjnych do automatycznego pozycjonowania obrabianych detali, ze szczególnym uwzględnieniem centrów frezarskich, składać się może z co najmniej dwóch kamer wideo oraz źródła światła rastrowego odpowiednio zamontowanego na obrabiarce CNC ze stołem obrotowym. Schemat ideowy stanowiska badawczego pokazano na rysunku 1.

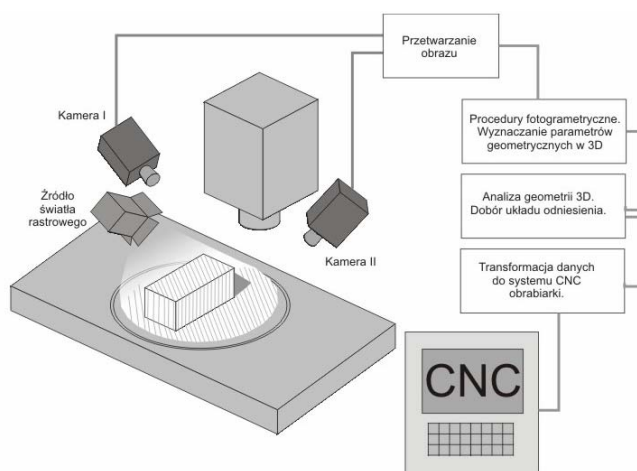
Istotnym elementem mającym wpływ na dokładność pozycjonowania jest dokładna kalibracja poszczególnych elementów systemu, ze szczególnym uwzględnieniem błędów i zniekształceń torów optycznych. Obejmuje ona zarówno testy kamer jak i oświetlenia z rastrem cyfrowym, co pozwala zwiększyć dokładność skanowania oraz określić maksymalną możliwą do uzyskania rozdzielczość systemu skanującego.

Kolejnym istotnym elementem procedury pozycjonowania jest zastosowanie odpowiednich technik analizy obrazów uzyskiwanych z kamer wideo. Zastosowanie znaleźć mogą zarówno klasyczne algorytmy analizy obrazu (w ograniczonym zakresie zależnym od rozdzielczości uzyskiwanego obrazu) jak i nowoczesne algorytmy bazujące m.in. na technikach super-rozdzielczości, które pozwalają na uzyskanie obrazu o podwyższonej rozdzielczości dzięki wykorzystaniu informacji z kilku kolejnych klatek sekwencji wideo. Istnieje również możliwość zastosowania markerów zainstalowanych na obudowie maszyny i przedmiocie obrabianym, co umożliwia m.in. zastosowanie

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

technik rozpoznawania obrazu z wykorzystaniem nieregularnej siatki naniesionej na scenę, która pozwala na jednoznaczne określenie pozycji obiektu bądź znacznika (markera) względem kamery nawet przy częściowo zasłoniętym tle. Najprostszą techniką jest rejestracja obrazu przedmiotu oświetlonego za pomocą siatki regularnych lub nieregularnych punktów lub prążków umożliwiających odtworzenie trójwymiarowego kształtu obiektu na podstawie analizy ich rozmieszczenia na zarejestrowanych obrazach.

Otrzymane na podstawie płaskich obrazów z kamer wideo dane geometryczne wymagają dalszego przetworzenia w celu uzyskania pełnej informacji o geometrii przedmiotu obrabianego w układzie 3D. Można to zrealizować za pomocą technik fotogrametrycznych, od lat rozwijanych w geodezji, kartografii i architekturze [4,5].



Rys. 1. Schemat stanowiska automatycznego pozycjonowania przedmiotu na frezarce CNC

Zeskanowane dane geometryczne przygotówki powinny być wykorzystane do przyjęcia bazowego układu odniesienia dla programu obróbkowego, co wymaga opracowania procedur doboru baz obróbkowych dla wybranego reprezentatywnego wariantu obróbki.

Nawet zgrubne oszacowanie położenia oraz gabarytów zewnętrznych przedmiotu obrabianego pozwala odpowiednio oprogramowanej obrabiarce automatycznie dokonać dalszych precyzyjnych pomiarów z zastosowaniem np. sondy pomiarowej. Natomiast dokładne zeskanowanie geometrii i położenia przedmiotu daje dodatkowe szerokie możliwości systemowi sterowania obrabiarką CNC. Po pierwsze może wyeliminować mało efektywny pomiar sondą przedmiotową, a ponadto pełna informacja o geometrii przedmiotu obrabianego w fazie przygotówki, umożliwia zastosowanie procedur kontroli rozmieszczenia naddatków obróbkowych i w tym kontekście racjonalnego ulokowania punktu bazowego programu obróbkowego detalu (tak aby wszystkie planowane do obróbki powierzchnie zostały w pełni obrabione).

W przypadku przedmiotu obrabianego ustalenie jego położenia (czyli pozycji i orientacji) w przestrzeni roboczej obrabiarki odbywa się z zastosowaniem sond przedmiotowych lub czujników zegarowych mocowanych we wrzecionie narzędziowym. Pomiarzy za pomocą sondy przedmiotowej odbywają się w trybie sterowania manualnego i umożliwiają zmierzenie tylko ograniczonego zestawu parametrów geometrycznych przedmiotu obrabianego. Proces ustawiania przedmiotu obrabianego zwykle jest

czasochłonny i wymaga od operatora posiadania wysokich kwalifikacji, szczególnie w przypadku obróbki w pięciu osiach złożonych przestrzennie detali. Tak prowadzony zabieg ustawiania trudno jest zautomatyzować. Jedynie w odniesieniu do obrabiarek do produkcji wielkoseryjnej wprowadza się zautomatyzowane systemy paletyzacyjne, które pozwalają ustawiać przedmiot obrabiany poza obrabiarką, na specjalnie przygotowanej palecie, co nie zajmuje czasu maszynowego. Proces ustawiania przedmiotu na palecie wymaga albo zastosowania specjalistycznych ustawczych uchwytów obróbkowych, albo przeprowadzenia czasochłonnych pomiarów.

Zastosowanie systemu skanowania optycznego sprzężonego z układem sterowania CNC obrabiarki [6] daje duże możliwości automatyzacji procesu ustawiania przedmiotu obrabianego. Systemy skanowania wizyjnego wymagają szeregu procedur obróbki obrazu uzyskiwanego z odpowiednio ustawianych kamer wideo.

Zastosowanie technik wizyjnych do automatycznego pozycjonowania detali

Zastosowanie technik wizyjnych umożliwia skrócenie czasu ustawiania przedmiotu na obrabiarce oraz pozwala na zwiększenie poziomu automatyzacji tego zabiegu. Techniki wizyjne mogą być również zastosowane do efektywniejszej kontroli przedmiotu po obróbce, w szczególności pomiarów złożonych powierzchni w przestrzeni 3D wykonywanych na obrabiarkach sterowanych w pięciu osiach.

Pierwszy element wizyjnego systemu pozycjonowania stanowi proces skanowania geometrii przedmiotu obrabianego oraz ustalenie jego położenia (tj. pozycji i orientacji) w przestrzeni roboczej obrabiarki.

Biorąc pod uwagę szerokie możliwości technik przetwarzania obrazów, zarówno dwuwymiarowych, jak również 3D, także w czasie rzeczywistym, celowe jest wykorzystanie nawet klasycznych algorytmów analizy obrazu do celów pozycjonowania przedmiotów obrabianych na obrabiarkach CNC. Dane geometryczne opisujące przedmiot obrabiany mogą być generowane także w oparciu o nowoczesne algorytmy analizy obrazów bazujące m.in. na technikach super-rozdzielczości. Techniki te pozwalają na uzyskanie obrazu o rozdzielczości podwyższonej w stosunku do tej, która jest możliwa do uzyskania bezpośrednio na podstawie pojedynczej klatki obrazu, dzięki wykorzystaniu informacji z kilku kolejnych klatek sekwencji wideo. Alternatywnie, możliwe jest również wykorzystanie do tego celu informacji pochodzących z kilku kamer. Zasadniczym problemem w tym przypadku jest wzajemne dopasowanie obrazów przy uwzględnieniu zniekształceń geometrycznych wynikających z niedoskonałości optyki kamer. Prawidłowe spasowanie obiektów umożliwia podwyższenie dokładności pomiarów wykonywanych na podstawie analizy obrazów, co jest możliwe m.in. dzięki zastosowaniu markerów zainstalowanych na obudowie maszyny.

Techniką pomocną w szybkiej analizie obrazów pochodzących z kilku kamer może być również metoda Image Based Rendering (IBR) zaproponowana w 1997 roku przez Leonarda McMillana [7], która umożliwia szybkie odtworzenie obrazu widzianego z dowolnie zlokalizowanej (z ograniczeniami wynikającymi z dostępności informacji obrazowej pochodzącej z kamer referencyjnych) wirtualnej kamery. Dokładność metody jest ograniczona rozdzielczością obrazów referencyjnych, jednak sama operacja warpingu (rzutowania) obrazu nie powoduje zauważalnej utraty jakości obrazu. Ograniczenie tej metody stanowi konieczność pozyskania mapy głębokości dla obrazów pochodzących z kamer referencyjnych, co jest możliwe do uzyskania na kilka sposobów. Możliwe do zastosowania są tzw. metody Shape-from-Shadow, jak również oparte na dalmierzach laserowych. W zastosowaniach telewizyjnych typu "wirtualne studio" do określania pozycji obiektów w przestrzeni trójwymiarowej wykorzystywane są również techniki rozpoznawania obrazu z wykorzystaniem nieregularnej siatki naniesionej na tło sceny (mogą to być np. jasnoniebieskie linie na niebieskim tle). Oba te kolory są następnie wykluczowane, jednak zastosowanie takiej nieregularnej siatki pozwala na

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

jednoznaczne określenie pozycji obiektu bądź znacznika (markera) względem kamery nawet przy częściowo zasłoniętym tle, a także przy najazdach kamery (widoczny fragment tła).

Najprostszą techniką, wykorzystywaną w przypadku analizy obrazów detali obrabianych na obrabiarkach CNC, jest rejestracja obrazu przedmiotu oświetlonego za pomocą siatki regularnych lub nieregularnych punktów lub prążków umożliwiających odtworzenie trójwymiarowego kształtu obiektu na podstawie analizy ich rozmieszczenia na zarejestrowanych obrazach. Poza niedoskonałością optycznych układów kamer istotnym elementem wpływającym na dokładność tak dokonywanych pomiarów może być nierównomierność oświetlenia detalu, w szczególności dla przedmiotów metalowych o silnym kierunkowym odbiciu światła. Klasyczne metody przetwarzania i analizy obrazów, przydatne w ww. zastosowaniach, można podzielić na techniki analizy obrazów binarnych (np. po detekcji krawędzi) oraz kolorowych lub w skali szarości [8,9,10]. Do pierwszej grupy można zaliczyć wszelkiego rodzaju operacje morfologiczne, stanowiące podstawowy element wstępnej analizy obrazów. Możliwe jest również zastosowanie innych metod analizy obrazu, m.in. opartych na szybkiej metodzie Monte Carlo [11], a także deskryptorów kształtu oraz metod szacowania parametrów geometrycznych, współczynników kształtu, momentów (np. detekcja środka ciężkości) etc.[12,13].

Wiele algorytmów analizy obrazów korzystających z reprezentacji konturowej wymaga uprzedniej detekcji krawędzi, która może być wykonana na kilka sposobów - istnieje szereg masek filtrów splotowych (Canny, Sobel, Prewitt, Laplace etc.) realizujących w różny sposób zadanie detekcji krawędzi i konturów, co prowadzi do różnych wyników, mających istotny wpływ na kolejne fazy analizy obrazu. Informacje geometryczne pozyskiwane z płaskich obrazów systemu wizyjnego mogą być dalej przetworzone z zastosowaniem technik fotogrametrii na przestrzenne dane geometryczne opisujące geometrię 3D skanowanego detalu.

Istotnym elementem wpływającym na dokładność tak dokonywanych pomiarów jest nierównomierność oświetlenia detalu, w szczególności dla przedmiotów metalowych o silnym kierunkowym odbiciu światła.

Podsumowanie

Wykorzystanie technik wizyjnych w szeroko pojętej dziedzinie automatyki stanowi dynamicznie rozwijającą się gałąź wielu systemów przemysłowych [14,15]. Jednym z obszarów, w których analiza obrazów może być wykorzystana w sposób szczególnie efektywny, jest automatyczne sterowanie obrabiarkami CNC. Zaproponowane w artykule podejście może stanowić podstawę intensyfikacji badań w tym zakresie, a docelowo stać się jednym z kluczowych elementów poprawiających wydajność procesu obróbki z wykorzystaniem obrabiarek CNC.

LITERATURA

- [1] Urządzenia ustawcze i pomiarowe do narzędzi DMG MICROSET - Toolmanagement, materiały firmy DMG, www.gildmeister.com
- [2] Systemy pomiarowe dla zapewnienia jakości i produktywności, materiały firmy RENISHAW, www.renishaw.pl
- [3] ATOS Industrial High-End 3D Digitizer, materiały firmy GEOM, www.geom.com
- [4] Davis E.R., Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities (Signal Processing and its Applications), Morgan Kaufmann Publisher (2005)
- [5] Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I., Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications, John Wiley & Sons (2006)
- [6] Pietruszewicz K., "CNC open architectures", *Control Engineering*, 55 (2008) nr 1, 17-18

- [7] McMillan L., An Image-Based Approach to Three-Dimensional Computer Graphics, PhD thesis, University of North Carolina at Chapel Hill (1997)
- [8] Jähne B., Digital Image Processing (6th revised and extended edition), Springer (2005)
- [9] Steger C., Ulrich M., Wiedemann C.: Machine Vision Algorithms and Applications, Wiley (2008)
- [10] O’Gorman L., Sammon M.J., Seul M., Practical Algorithms for Image Analysis (2nd edition), Cambridge University Press, (2008)
- [11] Okarma K., Lech P., Monte Carlo Based Algorithm for Fast Preliminary Video Analysis, *Lecture Notes in Computer Science*, 5101 (2008), 790-799
- [12] Viitaniemi V., Laaksonen J., Techniques for Image Classification, Object Detection and Object Segmentation, *Lecture Notes in Computer Science*, 5188 (2008), 231-234
- [13] Nixon M., Aguado A.S., Feature Extraction & Image Processing (Second Edition), Academic Press (2008)
- [14] Graves M., Batchelor B., Machine Vision for the Inspection of Natural Products, Springer (2003)
- [15] Zhuan Qing Huang, Zhuhan Jiang, Target Positioning with Dominant Feature Elements, *Lecture Notes in Computer Science*, 4673 (2007), 69-76

Autorzy: *dr hab. inż. Stefan Domek, prof. ZUT, dr inż. Paweł Dworak, dr inż. Krzysztof Okarma, dr inż. Krzysztof Pietrusewicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: Stefan.Domek@zut.edu.pl; Pawel.Dworak@zut.edu.pl; Krzysztof.Okarma@zut.edu.pl; Krzysztof.Pietrusewicz@zut.edu.pl;*