

METODA BUDOWY OBRAZU 3D PRODUKTU Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU WIZYJNEGO

Janusz KOWAL*, Andrzej SIOMA*

*Katedra Automatykacji Procesów, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
Akademia Górniczo Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

jkowal@agh.edu.pl, andrzej.sioma@agh.edu.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia możliwości wykorzystania trójwymiarowego systemu wizyjnego w procesie budowy obrazu 3D produktu prowadzonym bezpośrednio na linii technologicznej np. w zakładach wytwarzających elementy pneumatyki lub hydrauliki. W pracy prezentowana jest metoda doboru odpowiedniej geometrii systemu, w skład którego wchodzi kamera i oświetlenie laserowe. Omówiono metodę pobierania profili wysokości i budowy na ich podstawie obrazu 3D produktu. Szczegółowo prezentowany jest wpływ doboru geometrii na rozdzielczość systemu wizyjnego. W pracy prezentowana jest również metoda obróbki obrazu umożliwiająca tworzenie profilu wysokości tj. przekroju produktu.

1. WPROWADZENIE

Praca omawia metodę budowy obrazu 3D produktu wykonanego na podstawie obserwacji rzeczywistego obiektu przy pomocy systemu wizyjnego. Obraz budowany tą metodą zawiera informacje o rzeczywistych parametrach wymiarowych produktu i umożliwia ich kontrolę. Aby jednak możliwe było wdrożenie takiego rozwiązania w warunkach linii technologicznej założono, że potrzebna jest szybka budowa trójwymiarowego modelu np. podczas transportu wyrobu na przenośniku lub na specjalizowanym stanowisku kontrolnym. Zastosowanie stanowiska pozwala na wykonanie kontroli, jako zabiegu międzyoperacyjnego bez konieczności zwiększenia czasu prowadzenia procesu technologicznego.

W warunkach linii produkcyjnej przy produkcji seryjnej stosuje się w chwili obecnej sprawdziany lub kontrolę statystyczną w celu oceny parametrów uzyskiwanych na produktach. Dokładne pomiary wykonywane są również statystycznie w laboratoriach pomiarowych. Rozwiązanie prezentowane w pracy pozwala na prowadzenie kontroli wszystkich produktów opuszczających proces, ale również na wykorzystanie informacji o ewentualnych wadach powstających na produkcie zwrotnie w procesie sterowania parametrami technologicznymi.

2. BUDOWA TRÓJWYMIAROWEGO OBRAZU PRZEDMIOTU

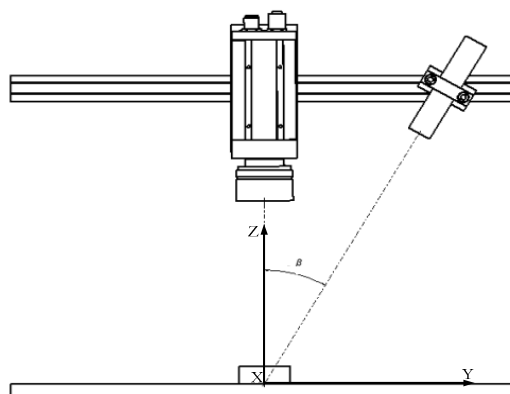
Budowa systemu wizyjnego 3D wymaga realizacji kilku etapów, w wyniku, których dobierane są kolejne parametry pracy systemu. Pierwszym etapem budowy jest dobór geometrii systemu tj. ustawienia kamery i lasera względem powierzchni badanego obiektu. W pracy omówiono geometrię, w której sensor systemu wizyjnego ustawiony jest równoległy do powierzchni stołu pomiarowego. Na podstawie wybranej geometrii przedstawiono metody wyznaczenia rozdzielczości pomiarowej systemu wizyjnego.

Należy jednak zauważyć, że w przypadku doboru systemu wizyjnego do konkretnych wymagań pomiarowych np. rozdzielczości pomiarowej zalecanej przy ocenie pro-

duktu niezbędny będzie również, dobór odpowiedniego układu optycznego, ogniskowej i typu obiektywu oraz dobór rozdzielczości matrycy systemu wizyjnego.

2.1. Geometria systemu wizyjnego

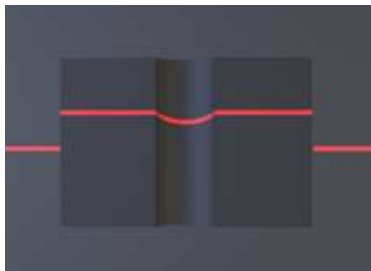
Przykładem geometrii systemu wizyjnego 3D może być ustawienie, w którym oś optyczna kamery jest prostopadła do powierzchni stołu pomiarowego oraz płaszczyzny podstawy badanego przedmiotu. Oś optyczną nazywamy prostą przechodzącą przez środek elementów optycznych obiektywu i matrycy kamery (np. matrycy CMOS) zabudowanej w kamerze.



Rys. 1. Geometria systemu wizyjnego 3D, współpraca kamery i lasera na stanowisku pomiarowym

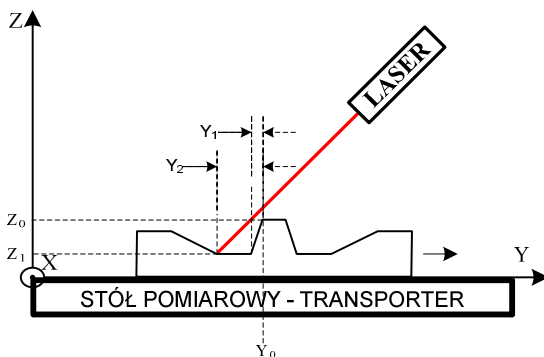
W wyniku zastosowania tej geometrii, przekrój obiektu widoczny w kamerze a realizowany przez promień lasera nie jest równoległy do osi „Z” układu współrzędnych stołu pomiarowego tj. do osi optycznej kamery. Jest równoległy do płaszczyzny lasera padającego na badany przedmiot.

W konsekwencji niezbędna jest obróbka matematyczna pozwalająca na przeliczenie geometrii przekroju widocznego na obrazie, tworzonego przez wiązkę lasera w celu uzyskania rzeczywistego trójwymiarowego przekroju a następnie obrazu trójwymiarowego badanego elementu.



Rys. 2. Linia lasera wyświetlana na obiekcie i widziana na matrycy systemu wizyjnego

Zastosowanie omówionej geometrii powoduje możliwość utraty danych pomiarowych w wyniku przysłonięcia (okluzja przedmiotu) lub wynikających ze zmiany wysokości badanego przedmiotu i idącej za tym skokowej zmiany położenia linii lasera na obrazie badanego obiektu. Takie ustawienie lasera i kamery umożliwia uzyskanie największej z możliwych rozdzielczości pomiarowych. Obraz obiektu będzie jednak zawierał obszary, w których zabraknie danych pomiarowych o wartości profilu wysokości w przekrojach. Wysokość tych punktów definiowana jest wówczas, jako wartość równa 0.

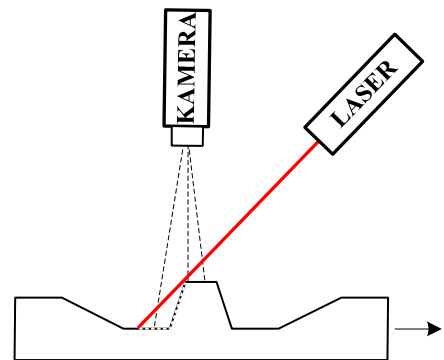


Rys. 3. Oświetlenie przedmiotu wiązką lasera

W przypadku zmiany wysokości badanego obiektu przy ustawieniu osi optycznej kamery prostopadle do płaszczyzny stołu pomiarowego a lasera pod kątem β część płaszczyzn obiektu nie będzie oświetlona przez wiązkę lasera. Badany obiekt przemieszczany jest na stole pomiarowym w kierunku osi Y. Obserwując stół pomiarowy widoczne jest oświetlenie przedmiotu wiązką lasera w punkcie Y_0 na wysokości Z_0 (rys 3).

Realizując przesunięcie stołu pomiarowego w kierunku osi Y o wartość Y_1 , możemy zauważyć, że z powodu zmiany wysokości badanego obiektu wiązkę lasera została przesunięta na powierzchni przedmiotu o wartość Y_2 . Przesunięcie obiektu o wartość Y_1 nie odpowiada, więc przesunięciu wiązki lasera na powierzchni obiektu w kierunku osi Y w układzie współrzędnych związanym ze stanowiskiem. Przy takim ustawieniu występują na powierzchni badanego

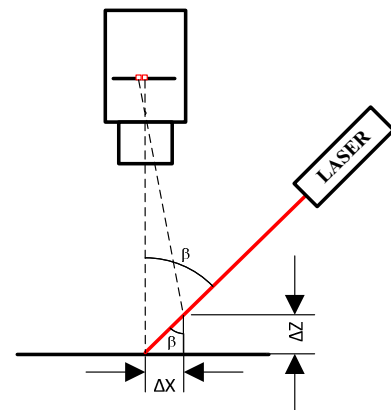
obiektu płaszczyzny oznaczone linią punktową niewidoczne w systemie wizyjnym z uwagi na geometrię ustawienia lasera. Jest to zjawisko przysłonięcia (okluzji) związanej z przysłanianiem wiązki lasera przez kształt elementu badanego.



Rys. 4. Powierzchnie niewidoczne na obrazie obiektu

2.2. Rozdzielczość systemu wizyjnego

W kolejnym etapie konfiguracji systemu wizyjnego niezbędne jest wyznaczenie rozdzielczości systemu wizyjnego. W wyniku zmiany wysokości obiektu np. poprzez pojawienie się na badanej powierzchni wad obraz linii lasera przemieszczany jest na matrycy CMOS w kamerze. Wyznaczenie rozdzielczości systemu wizyjnego polega na wyznaczeniu takiej minimalnej zmiany wysokości obiektu, przy której osiągniemy przemieszczenie obrazu lasera dokładnie o jeden rząd pikseli na matrycy.



Rys. 5. Wyznaczenie rozdzielczości w osi Z

$$\Delta Z \approx \Delta X / \tan(\beta) \quad (1)$$

gdzie: ΔZ - rozdzielczość w osi Z, ΔX - rozdzielczość w osi X, β - kąt pomiędzy osią symetrii lasera i prostopadłą do powierzchni stołu.

Rozdzielczość jest obliczana w milimetrach na piksel. Jeżeli realizowana jest subpikselowa obróbka obrazu, to obliczoną wartość przypadającą na piksel należy podzielić przez wartość współczynnika podziału piksela. Wówczas możliwe jest wyznaczanie przemieszczenia linii na ekranie z rozdzielczością np. $\frac{1}{2}$ piksela, $\frac{1}{4}$ piksela lub inną.

Zakładając wykorzystanie matrycy o wymiarach 1536x512 pikseli i dobierając obiektyw systemu wizyjnego umożliwiającego obserwację przedmiotu o szerokości 77mm (FOV = 77mm), wyznaczono rozdzielczość w osi X i Z dla przedmiotu.

$$\Delta X = 77\text{mm} / 1536\text{ pikseli} = 0.05[\text{mm} / \text{piksel}] \quad (2)$$

$$\Delta Z \approx 0.05 / \text{tg}(45^\circ) = 0.05[\text{mm} / \text{piksel}] \quad (3)$$

Na płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny matrycy przy znanej rozdzielczości ΔX w osi X rozdzielczość w osi prostopadłej do X jest przyjmowana jako ΔX . Rozdzielczość w kierunku osi Y układu współrzędnych stanowiska zależna jest od przesunięcia stołu pomiędzy kolejnymi akwizycjami obrazu realizowanymi przez system wizyjny. Zakładając, że w układzie pomiaru przesunięcia przedmiotu pracuje enkoder wystawiający 1600 impulsów na 1 mm przemieszczenia stołu. Obraz pobierany jest co 200 impulsów wyznaczono rozdzielczość w kierunku osi Y dla systemu wizyjnego 3D.

$$\Delta Y = 200[\text{imp} / \text{skan}] / 1600[\text{imp} / \text{mm}] = 0.125[\text{mm} / \text{skan}] \quad (4)$$

Trójwymiarowy obraz obiektu budowany jest z profili pobieranych w czasie ruchu przedmiotu w kierunku osi Y stanowiska. System wizyjny zbiera obraz profilu po każdorazowym przesunięciu obiektu o 0.125 mm (200 impulsów). W osi X rozdzielczość wynosi 0.05 mm i jest to odległość pomiędzy kolejnymi punktami pomiarowymi na tej osi bez obróbki subpixelowej. Rozdzielczość w osi Z równa jest 0.05 mm.

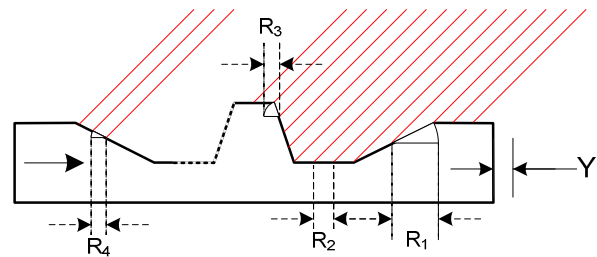
W badaniach rozdzielczości systemu wizyjnego 3D należy uwzględnić jednak możliwą zmianę rozdzielczości w osi Y występującą podczas budowy modelu 3D obrazu przedmiotu wynikającą ze zmiany kąta nachylenia płaszczyzn badanego przedmiotu względem płaszczyzny lasera podczas przemieszczania przedmiotu. W wyniku zmian tego kąta zmianie ulegną odległości pomiędzy liniami lasera tworzącymi kolejne profile wysokości, mierzone po powierzchni badanego obiektu.

Na rysunku 5 widoczny jest przykład, w którym, badany przedmiot przemieszczany pomiędzy kolejnymi skanami o zadanej wartości Y. Po każdym przemieszczeniu pobierany jest obraz kolejnego profilu na podstawie, którego analizowany jest stan powierzchni. Należy zauważyć wyraźną zmianę odległości pomiędzy badanymi przekrojami zależną od kąta pochylenia powierzchni względem osi prostopadłej do stołu pomiarowego.

Rysunek prezentuje cztery wybrane rozdzielczości skanowania (odległości pomiędzy profilami przedmiotu) wynikające ze zmiany kąta nachylenia płaszczyzn badanego obiektu opisane jako R_1 - R_4 . Na odległość pomiędzy profilami na płaszczyznach obiektu w omawianej geometrii będzie miał wpływ dodatkowo kąt ustawienia lasera względem osi prostopadłej do stołu pomiarowego.

Dla płaszczyzn, których powierzchnie pochylone są pod kątem zbliżonym do kąta 180° względem płaszczyzny tworzonej przez wiązkę lasera obserwowane będzie wyraźne rozsuniecie profili skanowania powierzchni oznaczone na rysunku jako R_1 . Przy analizie takich powierzchni należy

uwzględnić minimalny rozmiar wady możliwy do wykrycia w danej geometrii pracy systemu.

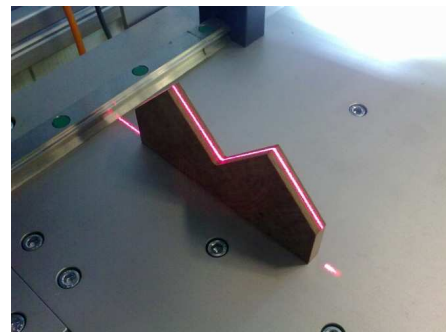


Rys. 6. Zmiana rozdzielczości w kierunku osi Y

Natomiast w przypadku powierzchni, które ustawione są pod kątem zbliżonym do 90° do płaszczyzny lasera odległość pomiędzy profilami skanowania jest znacznie mniejsza (R_3 , R_4), co pozwala na bardziej dokładne skanowanie tych powierzchni. Rozdzielczość wyliczoną teoretycznie ze wzoru (4) opisuje na rysunku rozdzielczość R_2 . Przypadek ten odwzorowuje budowę obrazu na powierzchni równoległej do płaszczyzny stołu pomiarowego.

2. METODA WYZNACZANIA PROFILU WYSOKOŚCI

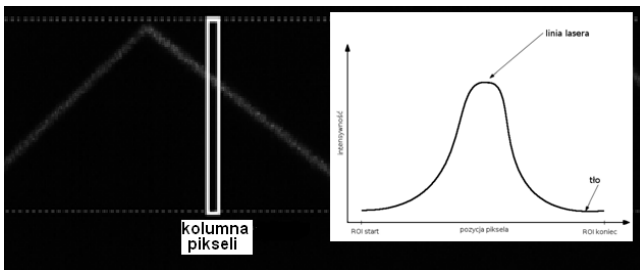
Po pobraniu obrazu przeprowadzana jest procedura przeliczenia pozycji linii lasera widocznej na matrycy na wysokość profilu w każdej z kolumn matrycy.



Rys. 7. Widok obiektu oświetlonego linią generowaną przez laser

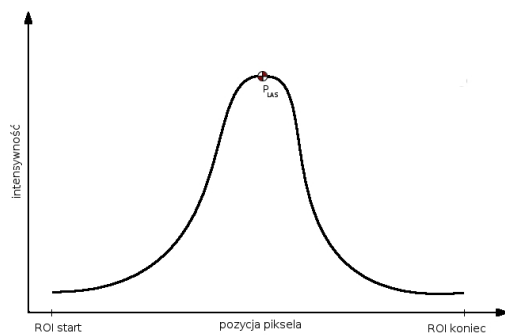
Ważnym elementem analizy obrazu w systemach wizyjnych 3D jest dokładne określenie środka linii lasera widzialnej w systemie wizyjnym. Każda z kolumn obrazu przedstawiana jest, jako funkcja intensywności $f(x)$, gdzie argumentem jest numer piksela w kolumnie. Następnie dla każdej z kolumn określany jest punkt środka linii lasera i w ten sposób otrzymywana jest kompletna informacja o położeniu linii niezbędna do wyliczenia wysokości punktu profilu.

Wybierając kolejne kolumny i kreśląc wykres intensywności w każdej z kolumn wyznaczana jest pozycja linii lasera widocznej na obrazie poniżej z lewej strony w celu określenia wysokości profilu w badanej kolumnie matrycy. Widoczna jest również funkcja intensywności dla badanej kolumny wykorzystana do obliczeń kolejnych punktów profilu.



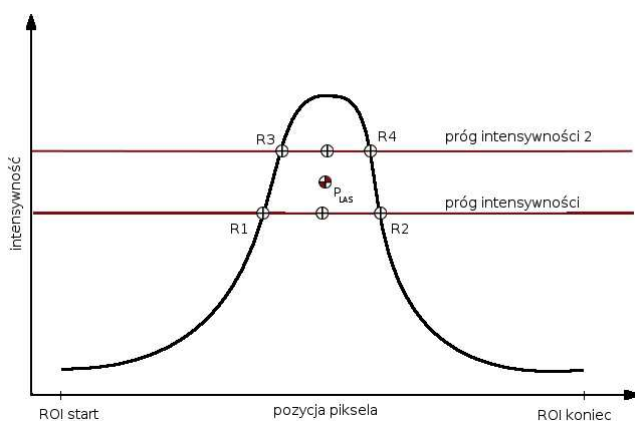
Rys. 8. Obraz obiektu oświetlonego linią generowaną przez laser, intensywność linii wyznaczona w kolumnie matrycy CMOS

Aby wyznaczyć środek linii lasera wykorzystuje się kilka metod analizy intensywności badanej linii. Pierwszą z metod jest wyznaczenie maksimum intensywności w każdej z kolumn matrycy. Pozycja piksela o największej wartości intensywności jest przyjmowana, jako środek linii lasera i jest wyznaczana z rozdzielczością jednego piksela.



Rys. 9. Wyznaczenie maksimum funkcji intensywności

Metoda wyznaczenia środka linii lasera z wykorzystaniem progu intensywności pozwala na uzyskanie większej rozdzielczości. W tej metodzie wprowadzany jest próg intensywności definiowany przez użytkownika. Jeśli nie występują zakłócenia i próg został dobrze dobrany, przecina on wykres intensywności w dwóch punktach (R1 i R2). Środek linii lasera jest wyznaczany, jako średnia arytmetyczna pozycji pikseli, dla których nastąpiło przecięcie wykresu z progiem. Analiza intensywności w kolumnie z wykorzystaniem progu intensywności pozwala na uzyskanie rozdzielczości na poziomie 1/2 piksela.

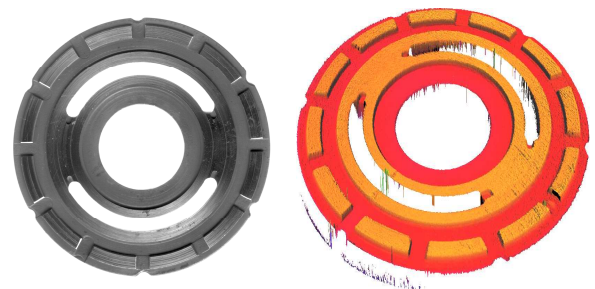


Rys. 10. Wyznaczenie środka linii lasera z wykorzystaniem progu intensywności

W celu zwiększenia rozdzielczości wyznaczenia pozycji środka linii lasera na obrazie należy zastosować dwa progi intensywności. Uzyskujemy wówczas 4 punkty opisujące funkcję intensywności a środek linii lasera wyznaczany jest jak średnia arytmetyczna pozycji wyznaczonych punktów. Zastosowanie dwóch progów intensywności umożliwia uzyskanie rozdzielczości na poziomie 1/4 piksela.

$$x_{LAS} = \frac{x_{R1} + x_{R2} + x_{R3} + x_{R4}}{4} \quad (5)$$

Profil wysokości opisujemy dla wszystkich kolumn matrycy CMOS. Po wyznaczeniu profilu realizujemy obróbkę kolejnego obrazu pobranego przez kamerę opisującego obiekt badany w przekroju przesuniętym o ΔY . Następnie składamy kolejne profile i otrzymujemy obraz 3D produktu.



Rys. 11. Rozrząd tarczowy pompy (z lewej) i obraz 3D rozrządu (z prawej)

Obraz taki umożliwia wykonanie analizy wymiarów i parametrów powierzchni badanego produktu. Rys. 5 prezentuje obraz 2D i 3D rozrządu tarczowego pompy.

LITERATURA

1. Kowal J., Sioma A. (2009). Active vision system for 3D product inspection: Learn how to construct three-dimensional vision applications by reviewing the measurements procedures, *Control Engineering USA*, Vol. 56.
2. Sioma A., Struzikiewicz G. (2009), Measurement and vision control of an object processed on a CNC milling machine, *Production process in mechanical engineering: advanced machining technology in automotive production today and tomorrow : research reports CEEPUS project CII – SK 0067 – 04 –08,37–44.*
3. Trucco E. Verri A. (1998), *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prantice Hall.

THE METHOD OF BUILDING 3D PRODUCT IMAGE USING VISION SYSTEM

Abstract: The article discusses of using possibility three-dimensional vision system in process of 3D product image building. The method of selecting suitable geometry for vision system based on camera and laser lighting is presented. The influence of geometry selection on resolution in vision system and the method of image processing are presented for creating the profile of height in product section.

Praca wykonana w ramach grantu badawczo rozwojowego finansowanego ze środków na naukę w latach 2007-2010.