

## SKANOWANIE 3D Z ZASTOSOWANIEM ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

**Łukasz Kamieniecki\*, Jacek Lewandowski\*, Tadeusz Mikołajczyk\*\***

*\*Kolo Naukowe Mechaników, \*\*Katedra Inżynierii Produkcji  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy*

### Streszczenie

W pracy przedstawiono koncepcje zastosowania robota do skanowania powierzchni. Może to być szczególnie przydatne do sporządzania modeli 3D obiektów o dużych gabarytach bądź do budowy systemu obróbki powierzchni z układem rozpoznawania kształtu powierzchni. Przedstawiono koncepcje zastosowania laserowego skanera punktowego oraz liniowego.

### 1. WPROWADZENIE

Modelowanie skomplikowanych powierzchni swobodnych (obiektów bryłowych o trudnej do odwzorowania geometrii), czego nie da się osiągnąć wyłącznie za pomocą modelerów 3D, dokonuje się poprzez zastosowanie inżynierii odwrotnej. Inżynieria odwrotna (reverse engineering) jest to proces tworzenia wirtualnych modeli 3D na podstawie modeli rzeczywistych za pomocą digitalizatorów. Inżynieria odwrotna znalazła zastosowanie w technice, medycynie, architekturze, sztuce.

Pomiarów powierzchni dokonuje się dwiema metodami:

- stykową,
- bezstykową.

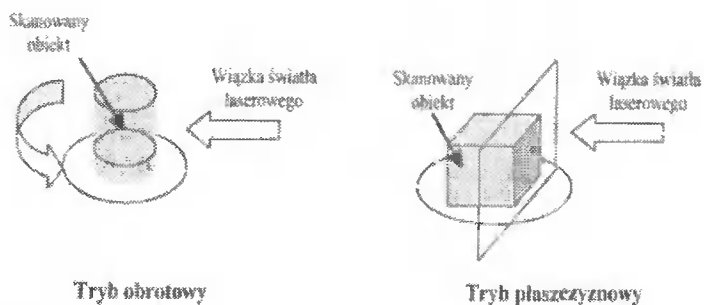
W metodzie stykowej narzędzie pomiarowe „dotyka” bezpośrednio powierzchni mierzonego obiektu. Przykładem digitalizatora wykorzystującego tę zasadę jest współrzędnościowa maszyna pomiarowa.

W metodzie bezstykowej do pozyskiwania informacji na temat geometrii obiektu wykorzystywany jest sygnał pomiarowy w postaci fali świetlnej, dźwiękowej lub elektromagnetycznej. Najczęściej stosowane są skanery laserowe [4, 6, 7, 8].

### 2. SKANERY LASEROWE

Skaner laserowy analizuje odbitą wiązkę promieniowania laserowego wyemitowaną w kierunku mierzonego obiektu. Na podstawie zarejestrowanego przez czujnik sygnału pomiarowego określone są współrzędne punktów odwzorowujących kształt i geometrię obiektu rzeczywistego. Proces skanowania, w zależności od budowy skanera, może odbywać się w trybie obrotowym lub płaszczyznowym (rys. 1).

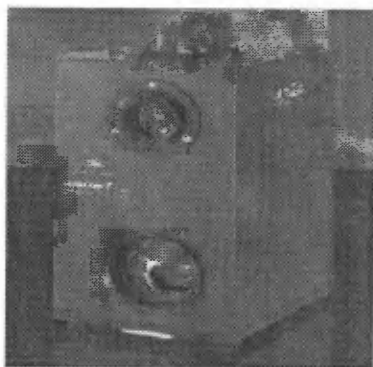
Dzięki współpracy skanera laserowego i komputera z odpowiednimi aplikacjami istnieje możliwość szybkiego tworzenia modeli 3D. Dokładność skanerów laserowych różnych firm [6, 7, 8] waha się od 0,5 do 0,05 mm, przy cenach odpowiednio około 75 tys. do 120 tys. PLN.



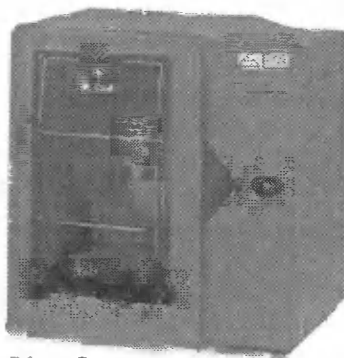
Rys. 1. Zasada pracy skanera laserowego

Proces skanowania optycznego jest bardzo szybki. Na przykład dla modelu skanera laserowego Konica Minolta (rys. 2) [7] zbieranie danych trwa tylko 0,3-2,5 s, a dokładność (dla każdej osi) wynosi 0,05 mm. Wymienne obiektywy umożliwiają precyzyjne skanowanie obiektów o wymiarach od 110/80/40 do 200/900/750 mm. Urządzenie to umożliwia skanowanie w trybie obrotowym i płaszczyznowym.

Przestrzeń robocza skanera Roland LPX 250 (rys. 3) [8] wynosi: w trybie obrotowym – średnica 254 mm, wysokość 406,4 mm; w trybie płaszczyznowym – szerokość 230 mm, wysokość 406,4 mm.



Rys. 2. Konica Minolta [7]

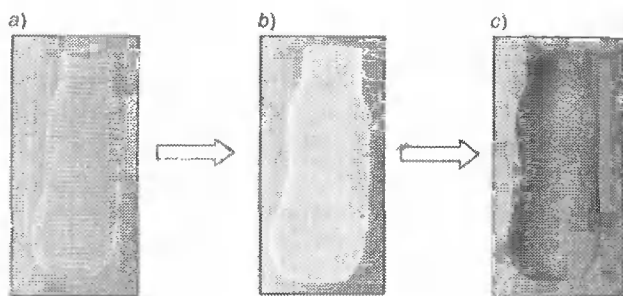


Rys. 3. Roland LPX 250 [8]

### 3. TWORZENIE MODELI 3D

Nowoczesne skanery mogą odwzorowywać nawet duże gabarytowo elementy z dokładnością wymaganą w wielu zastosowaniach. Skaner tworzy pliki będące zbiorem punktów o różnych współrzędnych  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ , które następnie wykorzystywane są do tworzenia powierzchni modelu wirtualnego. Model 3D tworzy się na podstawie obróbki programowej chmury punktów określonej po skanowaniu obiektu. W programie analizy otrzymuje się przez połączenie sąsiadujących punktów trójwymiarową siatką trójkątów, z możliwością jej edycji. Dodatkowo – przy skanowaniu dużych modeli – specjalne oprogramowanie umożliwia odpowiednie połączenie dwóch (lub więcej) chmur punktów. Pozwala to na skanowanie dużych elementów, np. nadwozia samochodu.

Do obróbki plików chmury punktów stosuje się specjalne oprogramowanie, jak na przykład Polygon Editing Software [6], które zamienia chmurę punktów na przestrzenną siatkę trójkątów oraz automatycznie rejestruje i scala fragmenty obrazu 3D uchwycone pod różnym kątem. Innym oprogramowaniem wspomagającym tworzenie modeli 3D jest aplikacja Pixform 2001, stosowana m. in. dla skanerów Roland LPX 250 [8]. Przykład procesu tworzenia modelu 3D zilustrowano na rysunku 4.



Rys. 4. Proces tworzenia modelu 3D:  
 a) chmura punktów,  
 b) siatka poligonalna,  
 c) powierzchnia typu NURBS

Rozpoczyna się od operacji digitalizacji, czyli cyfrowego zapisu przestrzennej i geometrycznej formy modelu w postaci współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$  chmury punktów (rys. 4a). Na podstawie otrzymanych danych tworzy się powierzchnię poligonalną, złożoną z elementarnych trójkątów, odzwierciedlającą kształt i geometrię mierzonego obiektu (rys. 4b). Z kolei następuje pokrywanie siatki poligonalnej elementarnymi płatkami powierzchni typu NURBS (rys. 4c). Każdy płatek opisany jest za pomocą określonej liczby punktów kontrolnych, która decyduje o jakości dopasowania płata do odpowiedniego fragmentu siatki poligonalnej.

Otrzymany w ostatnim etapie procesu przetwarzania model powierzchniowy może być eksportowany za pomocą różnych formatów wymiany danych CAD, które pozwalają na dalszą pracę z modelem 3D w środowisku programów typu CAD (SolidEdge, SolidWorks, CATIA, Inventor, Rhino itp.). Zaimportowanie zeskanowanego modelu do programu 3D umożliwia całą paletę funkcji zapewniających dalsze opracowanie modelu, a następnie jego użycie na przykład w systemach CAM.

Skaner laserowy okazał się przydatnym narzędziem wspomagającym proces modelowania powierzchni swobodnych elementów bryłowych o trudnej do odwzorowania geometrii (np. popiersie człowieka). Istnieją jednak pewne ograniczenia, wymagające specjalnego postępowania. Dotyczą one:

- powierzchni kuli, powierzchni z lokalnym kątem pochylenia niesprzyjającym (ze względu na częściowe odbijanie się promieni laserowych od powierzchni i obiektów lustrzanych),
- skanowania obiektów przezroczystych,
- mniejszej dokładności od skanerów dotykowych.

W przypadku projektowania obiektów o łatwej do odwzorowania geometrii bardziej odpowiednim narzędziem wydaje się WMP, gdyż posiada większą dokładność i powtarzalność pomiarów przy stosunkowo niskim poziomie zakłóceń. WMP nie wykazują problemów ze skanowaniem sfery kuli i obiektów przezroczystych.

W pracy przedstawiono przykład zastosowania skanera z robotem IRb60 do skanowania powierzchni. Realizacja tego tematu okazała się możliwa, gdyż technika skanowania jest stosunkowo prosta, a układy stosowane do ich budowy (kamery cyfrowe, lasery) są ogólnie dostępne. Stwarza to możliwości budowy takich układów do zastosowań praktycznych.

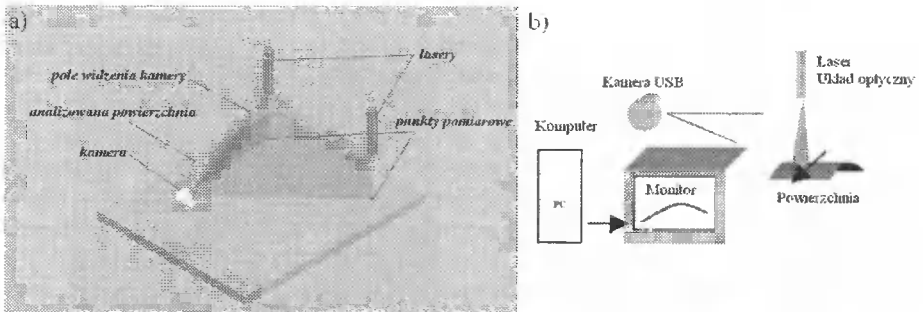
#### 4. KONCEPCJA SKANOWANIA Z UŻYCIEM ROBOTA

Koncepcję rozwiązania skanowania obiektów 3D opracowano w oparciu o syntezę współrzędnych punktów z przekrojów powierzchni (współrzędne  $x, y$ ) układu pomiarowego oraz współrzędnych  $x, y, z$  z kinematyki robota. Odczyt współrzędnej z robota IRb60 jest możliwy dzięki zastosowaniu oryginalnego układu sterowania robota komputerem, opracowanego w Katedrze Inżynierii Produkcji UTP w Bydgoszczy [2, 3].

Do skanowania przekrojów powierzchni z użyciem robota opracowano dwie koncepcje:

- układ z punktowym pomiarem współrzędnych powierzchni,
- układ do ciągłej analizy profilu powierzchni.

Do pomiaru współrzędnych powierzchni opracowano system videooptyczny z oświetlaczem laserowym. Do testów stosowano laser czerwony o długości fali promieniowania 660 nm.



Rys. 5. Koncepcje systemów skanowania powierzchni: a) skaner punktowy, b) skaner liniowy

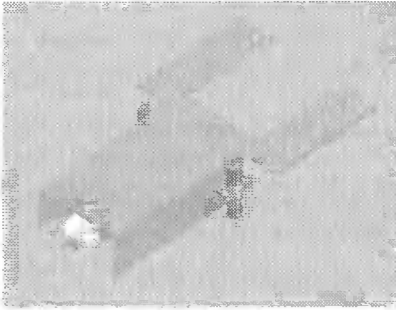
W systemie tym ślad światła laserowego na powierzchni analizowanej rejestrowany jest przez kamerę cyfrową. Do analizy współrzędnych powierzchni zastosowano cyfrową kamerę USB o rozdzielczości VGA (640×480 pikseli). Rozdzielczość kamery wpływa na dokładność pomiaru, która jest uzależniona też od powiększenia układu optycznego [5]. Na rysunku 5a przedstawiono zasadę pomiaru współrzędnych punktu z użyciem jednego lasera.

W systemie skanera profilu (rys. 5b) zastosowano generator płaskiego strumienia światła laserowego, który zaznacza profil powierzchni. Widok tego profilu jest zapisywany z zastosowaniem kamery cyfrowej usytuowanej w pewnej odległości od strumienia światła. Opracowane oprogramowanie umożliwia określenie współrzędnych profilu z dużą dokładnością. Analiza krzywizny powierzchni prowadzona jest z użyciem specjalnych procedur.

Działanie sprzężonego z robotem systemu skanowania powierzchni przedstawiono na przykładzie skanera dwupunktowego.

## 5. SKANER DWUPUNKTOWY

W pracy zastosowano układ dwóch równoległych strumieni światła. System taki może być użyty do badań pochylenia powierzchni o małej krzywiznie bądź płaskich. Realizację praktyczną skanera dwupunktowego przedstawiono na rysunku 6. Składa się on z uchwyty z zamocowanymi dwoma laserami punktowymi. Z uchwytem połączona jest również kamera (rys. 7). Uchwyt mocowany jest do specjalnych śrub wkręconych do końcówki robota.



Rys. 6. Model skanera dwupunktowego



Rys. 7. Widok robota

Do obsługi opracowanych układów opracowano w języku VB 6.0 specjalne oprogramowanie (rys. 8). Obraz z kamery jest przechwytywany przez specjalny obiekt VB. Przy jego użyciu można zmieniać parametry kamery: rozdzielczość, czułość.



Rys. 8. Widok ekranu dwupunktowego systemu analizy pochylenia powierzchni [4]

Obraz rzeczywisty z kamery prezentowany w głównym oknie programu jest cyklicznie zamrażany w panelu analizy. Obraz ten jest na bieżąco analizowany przy użyciu specjalnej procedury oceniającej kolor pikseli obrazu.

Przeprowadzone próby zastosowania skanera dwupunktowego wskazały na możliwość jego użycia do skanowania powierzchni płaskich o niedużym pochyleniu. Może to być źródło informacji do sterowania robotem przy obróbce takich powierzchni.

## 6. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono możliwości wyposażenia robota przemysłowego w układ do skanowania powierzchni. Może on być przydatny zarówno do tworzenia modeli wirtualnych obiektów wielkogabarytowych, jak i analizy powierzchni w procesie jej obróbki.

Do analizy geometrii powierzchni zaprezentowano dwa rozwiązania. Wskazano na możliwość zastosowania w tych układach niedrogich kamer USB. Wstępnie zweryfikowana dokładność pomiaru współrzędnych powierzchni wskazuje na możliwość praktycznego zastosowania takich układów.

Celowe jest dostosowanie opracowanego oprogramowania do potrzeb programów CAD umożliwiających modelowanie powierzchni w oparciu o wielopunktowe pomiary jej współrzędnych.

## LITERATURA

- [1] Honczarenko J., 2004. Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie. WNT Warszawa.
- [2] Małaszczek P., 2007. Kształtująca obróbka skrawaniem z zastosowaniem robota. UTP Bydgoszcz (praca niepublikowana).
- [3] Mikołajczyk T., 2004. Prace Koła Naukowego Mechaników ATR Bydgoszcz w zakresie CAX. I Warsztaty Naukowe: Komputerowe Wspomaganie Badań, Projektowania i Wytwarzania, Wyd. Uczelniane ATR w Bydgoszczy.
- [4] Mikołajczyk T., 2007. The robot machining system with surface shape active control. Konferencja OPTIROB 2007, Predeal.
- [5] Mikołajczyk T., 2005. Zastosowanie analizy obrazu w badaniach obiektów i procesów. Diagnostyka 33.
- [6] <http://www.konicaminolta-3d.com/index.php?id=8>
- [7] <http://www.minolta3d.com/products/vi9i-en.asp>
- [8] [http://www.stika.com/brochure\\_LPX250.pdf](http://www.stika.com/brochure_LPX250.pdf)

## 3D SCANING USING INDUSTRIAL ROBOT

### Summary

Paper deals with concept surface scanning using robot. It can be used to drafting type 3D big object or to surface machining with on-line shape recognizing system. Point and line type laser scanner was presented.