

Paweł BACHMAN
Jarosław GOŚLINSKI
Piotr OWCZAREK
Adam OWCZARKOWSKI
Roman REGULSKI

WIZYJNY SYSTEM BEZPIECZEŃSTWA OBSZARU ROBOCZEGO MANIPULATORA ELEKTROHYDRAULICZNEGO

STRESZCZENIE *Ze względu na szybkość przetwarzania oraz wysoką rozdzielczość obrazu, systemy wizyjne są obecnie powszechnie wykorzystywane do kontroli jakości produktów oraz obrabianych materiałów. W artykule zaproponowano implementację systemu wizyjnego do detekcji i wykrywania dłoni człowieka, pojawiających się w obszarze roboczym manipulatora. Celem zaprezentowanych prac jest przebadanie algorytmu opartego o metodę śledzenia binarnych obiektów (ang. blobs), pozwalającego na zatrzymanie pracy manipulatora po wykryciu ręki człowieka w jego polu roboczym. Utworzona aplikacja została oparta o bibliotekę OPEN CV i zaimplementowana w języku C++.*

Zaletą przedstawionego rozwiązania jest niski koszt jego wykonania, ze względu na użycie kamery internetowej. Przeprowadzone badania potwierdzają, że zaprezentowany system może poprawić bezpieczeństwo człowieka, pracującego w przestrzeni roboczej manipulatora.

Słowa kluczowe: *system wizyjny, śledzenie obiektów, manipulator*

dr inż. Paweł BACHMAN

e-mail: P.Bachman@eti.uz.zgora.pl

Uniwersytet Zielonogórski
ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra

mgr inż. Jarosław GOŚLINSKI, mgr inż. Piotr OWCZAREK

e-mail: Jaroslaw.A.Goslinski@doctorate.put.poznan.pl; Piotr.Owczarek@put.poznan.pl

mgr inż. Adam OWCZARKOWSKI, mgr inż. Roman REGULSKI

e-mail: {Adam.J.Owczarkowski; Roman.Regulski}@doctorate.put.poznan.pl

Politechnika Poznańska
Pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 263, 2013

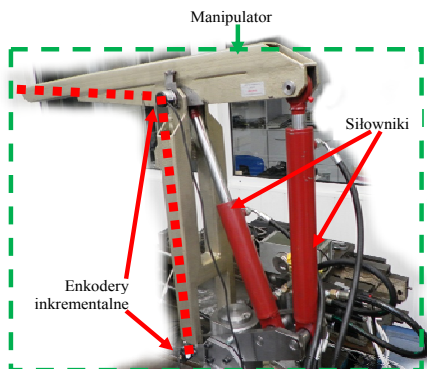
1. WSTĘP

Systemy wizyjne w dzisiejszych czasach są szeroko stosowane w przemyśle do detekcji wad w obrabianych elementach. Kamerom stosowanym w systemach wizyjnych stawia się coraz większe wymagania odnośnie prędkości ich działania oraz rozdzielczości przetwarzanego przez nie obrazu. Możliwe też stało się zastosowanie systemów wizyjnych jako układu pomiarowego w pętli sprzężenia zwrotnego w układach mechatronicznych [1] oraz do nadzorowania pracy manipulatorów [4].

Z maszynami, takimi jak koparki, manipulatory czy też dźwigi, często bezpośrednio współpracują ludzie. Zdarza się, że przez nieuwagę operatora dochodzi do ciężkich wypadków. W niniejszym artykule zaproponowano zastosowanie systemu wizyjnego jako układu nadzorującego pracę manipulatora elektrohydraulicznego. System ten ma za zadanie analizować obraz w obszarze pracy manipulatora i po wykryciu dłoni człowieka, zatrzymać jego ruch. Badania przedstawione w artykule dotyczą manipulatora dwuosowego. W przypadku zastosowania systemu do manipulatorów o większej liczbie stopni swobody, należy użyć dodatkowej kamery, obserwującej stanowisko np. z góry.

2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

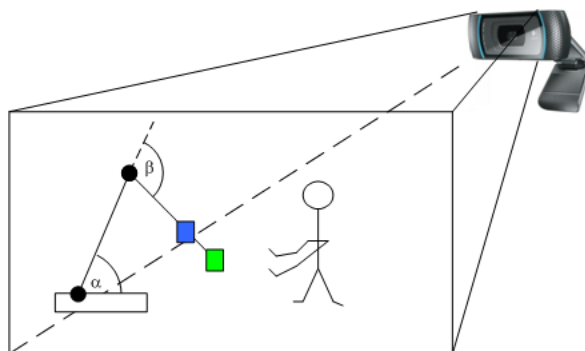
Obiektem badań był dwuosowy manipulator elektrohydrauliczny o kinematyce równoległej (rys. 1). Każdą z osi poruszał siłownik hydrauliczny sterowany zaworem proporcjonalnym. Całość zasilano z pompy hydraulicznej o ciśnieniu 10 MPa. Jako układ pomiarowy położenia ramion manipulatora zastosowano enkodery inkrementalne o rozdzielczości 3600 impulsów/obr.



Rys. 1. Widok manipulatora elektrohydraulicznego

Układ sterowania oparty był na sterowniku PLC firmy B&R, komunikującym się z oprogramowaniem PVI Menager (ang. *Process Visualization Interface*), zaimplementowanym w komputerze PC. Karty zaworów proporcjonalnych sterowane były za pomocą wyjść analogowych PLC (sygnał napięciowy w standardzie ± 10 V), a sygnał z enkoderów odczytywano za pomocą szybkich wejść licznikowych z dokładnością kąta wynoszącą $0,025^\circ$. Do obserwacji przestrzeni roboczej zastosowano kamerę internetową firmy Logitech C920HD, pracującą z rozdzielczością obrazu 640×480 pikseli. Kamera została ustawiona przed stanowiskiem tak, aby obserwowała manipulator oraz człowieka znajdującego się w jego obszarze roboczym (rys. 2). Na poziomym członie manipulatora umieszczono dwa kolorowe markery, aby możliwe było wyz-

naczenie współrzędnych jego końcówki w układzie lokalnym kamery. Rozwiązanie takie zapewnia szybką konfigurację systemu i umożliwia zmiany położenia kamery. Opisywana aplikacja, ze względu na zastosowanie jednej kamery, ma możliwość wykrywania dłoni człowieka tylko w jednej płaszczyźnie. Przedstawiony system może znaleźć zastosowanie np. w prasach hydraulicznych, gdzie operator ręcznie ustawia produkty w maszynie.

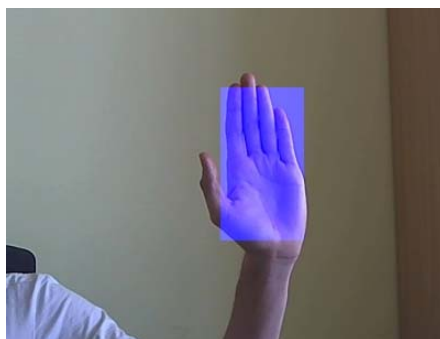


Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

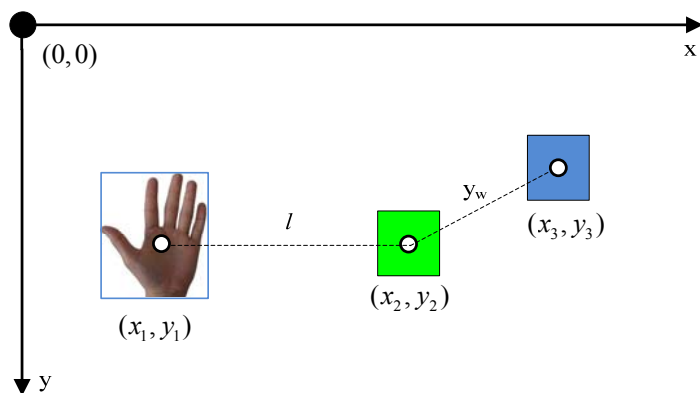
3. PRZETWARZANIE OBRAZU

W artykule zaproponowano metodę śledzenia binarnych obiektów [3], połączoną z dedykowaną filtracją do wyekstrahowania cech skóry ludzkiej. Przefiltrowany obraz zostaje poddany procesowi binaryzacji, a następnie procesowi detekcji. Wykryte elementy obrazu zostają poddane etykietowaniu, aby możliwe było śledzenie ich ruchów (rys. 3). Możliwa jest też modyfikacja aplikacji tak, żeby system reagował też na kształty innych części ciała człowieka.

Kamera została ustawiona na statywie przed stanowiskiem badawczym w odległości 1,5 m. Określanie położenia ręki na obrazie względem kamery jest zadaniem stosunkowo prostym. Trudniejsze jest dokonanie detekcji ramienia manipulatora oraz jego końcówki w układzie lokalnym kamery. Autorzy do tego celu wykorzystali dwa kolorowe markery [4, 5], określające stopień przeskalowania odległości na piksele obrazu. Dzięki temu możliwe jest określenie odległości od manipulatora do ręki człowieka. W przedstawionym przypadku osiągnięto rozdzielczość odległości ± 2 mm. W celu dokładniejszego pomiaru odległości należy zastosować kamerę o większej rozdzielczości obrazu.

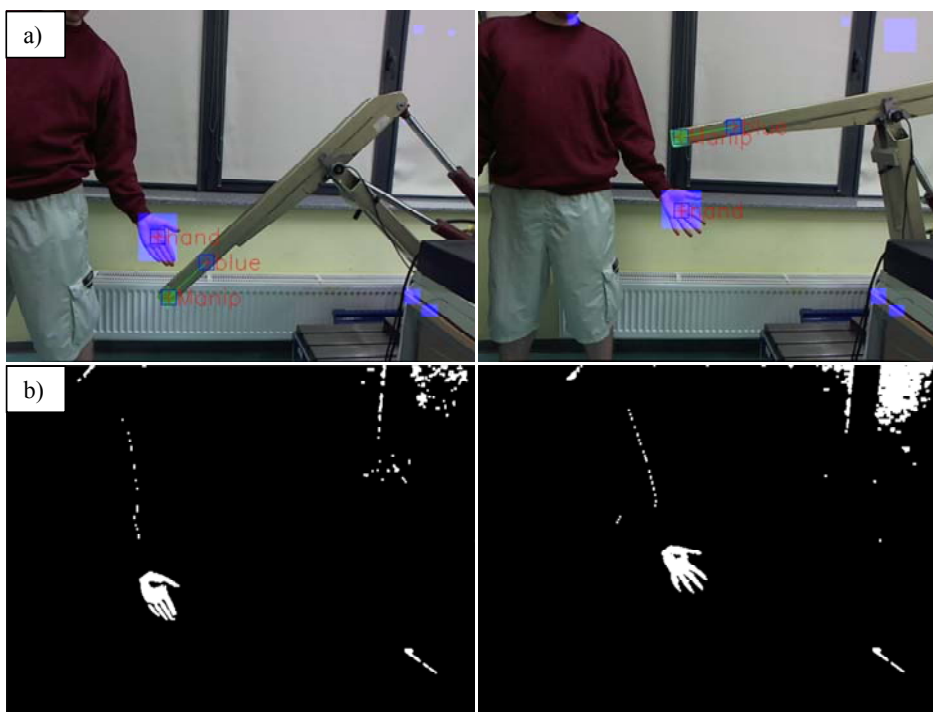


Rys. 3. Przykład wykrycia dłoni na obrazie



Rys. 4. Schemat układu wizyjnego

l – odległość dłoni od manipulatora; x_1, y_1 – współrzędne punktu środkowego dłoni; x_2, y_2 – współrzędna końcówki manipulatora; x_3, y_3 – współrzędne markera odniesienia; y_w – odległość wzorcowa; $(0,0)$ – początek układu współrzędnych kamery



Rys. 5. Widok przetwarzanego obrazu z systemu wizyjnego:
a) obraz po przetworzeniu; b) obraz po binaryzacji

Na rysunku 4 przedstawiono sposób analizy obrazu. Marker zielony wyznacza końcówkę ręką manipulatora, natomiast marker niebieski został wykorzystany do przeskalowania odległości z pikseli na metry. Wykryta dłoń zostaje na obrazie odpowiednio oznaczona współrzędnymi x_1, y_1 , a na ich podstawie określana jest odległość l do końcówki manipulatora x_2, y_2 . Strefę niebezpieczną dla człowieka można zmieniać programowo i powinna ona być uzależniona od prędkości działania manipulatora tak, aby system mógł efektywnie zareagować. W przypadku przeprowadzanych badań, strefę tę ustawiono na 20 cm.

Wykonano szereg badań, mających na celu wybór odpowiednich parametrów obrazu podczas wykrywania końcówki manipulatora oraz dłoni. W przypadku śledzenia markerów operowano na obrazie w przestrzeni barw HSV (ang. *hue, saturation, value*), która jest prostszym i efektywniejszym rozwiązaniem, niż przestrzeń RGB. Podczas detekcji skóry na obrazie zastosowano filtrację oraz technikę binaryzacji, przedstawioną w pracy [2].

Na rysunku 5a przedstawiono wyniki badań rozpoznawania i etykietowania markerów zielonego i niebieskiego oraz wykrycie i etykietowanie dłoni na obrazie z kamery. Obraz po binaryzacji (rys. 5b) przedstawia nie tylko piksele dłoni, lecz również szumy z otoczenia, ze względu na kolory zbliżone do barwy skóry operatora.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono możliwość zastosowania systemu wizyjnego jako układu zabezpieczającego i chroniącego człowieka współpracującego z maszyną. Aplikacja wykazuje poprawne działanie w przypadku wykrywania ludzkich dłoni w płaszczyźnie pracy manipulatora. Zaproponowana metoda wykorzystuje rozwiązanie niskobudżetowe, składające się z kamery internetowej podłączonej do komputera PC. Wyznaczane na podstawie przetwarzanego obrazu współrzędne są przesyłane do sterownika PLC, na którym zaprogramowano funkcję wyłączenia awaryjnego w przypadku zbliżenia się manipulatora do dłoni człowieka.

W przyszłości planuje się rozbudowanie systemu o możliwość wykrywania sytuacji, w których dowolny człon manipulatora może uderzyć w człowieka. Do wykrycia odległości od człowieka będą wykorzystane dodatkowe markery, umieszczone w różnych innych miejscach manipulatora.

LITERATURA

1. Chin-Wen Chuang, Ming-Shyan Huang, Kun-Yung Chen, Rong-Fong Fung: Adaptive vision-based control of a motor-toggle mechanism: Simulations and experiments, *Journal of Sound and Vibration*, 2007.
2. Hani. K. Almohair, Abd Rahman Ramli, Elsadig A.M., Shaiful J. Hashim: Skin Detection in Luminance Images using Threshold Technique, *International Journal of The Computer, the Internet and Management*, Vol. 15#1, 2007.

3. <http://code.google.com/p/cvblob>.
4. Milecki A., Owczarek P., Rybarczyk R., Bączyk R.: The use of the vision system for a supervision of a manipulator with electrohydraulic servodrives, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering* 2012, Volume 17, Number 3.
5. Milecki A., Owczarek P., Rybarczyk R., Bączyk R.: The control of the manipulator by operator hand movement watched by visual system, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2012, Volume 17, Number 3.

Rękopis dostarczono dnia 08.07.2013 r.

VISION SYSTEM OF SECURITY OF THE WORK AREA OF ELECTROHYDRAULIC MANIPULATOR

Paweł BACHMAN, Jarosław GOŚLINSKI
Piotr OWCZAREK, Adam OWCZARKOWSKI
Roman REGULSKI

ABSTRACT *Vision systems are now widely used to control the quality of products and processed materials due to processing speed and high resolution of the processed image. In this paper the authors have proposed the implementation of a vision system for the detection and the detection of appearing human hand in the working area of the manipulator. The main aim of the research is to test the application and algorithms for detection of human hands on the working area of the manipulator. The Authors have proposed algorithms based on the method of tracking blobs combined with filtration of skin in the capture image. App created was based on OPEN CV library implementation in C++. This paper presents the use of a low-cost solution based on the webcam to improve the safety of human life in collaboration with the machine. The results confirm that it is possible to use the vision system to ensure the safety of the man in the working area of the manipulator.*

Keywords: *vision system, detection of blobs, manipulator*



Dr inż. Paweł BACHMAN – asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Zielonogórskiego. Zainteresowania: mechatronika, sterowanie. Jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.

Mgr inż. Jarosław GOŚLIŃSKI – w 2011 r. ukończył studia na kierunku Automatyka i Robotyka. Podjął pracę w korporacji, gdzie zajmował się wdrażaniem systemów pomiarowych; uzyskał certyfikat CLAD (Certified LabVIEW Associate Developer). Powrócił na Politechnikę Poznańską, gdzie zaczął studia doktoranckie. Zajmuje się estymacją stanu przy wykorzystaniu bezśladowych filtrów Kalmana. Pracuje nad robotami latającymi, modelowaniem dynamiki oraz identyfikacją parametrów modeli matematycznych.



Mgr inż. Piotr OW CZAREK – asystent i doktorant w Zakładzie Urządzeń Mechatronicznych Politechniki Poznańskiej. Ukończył studia w 2011 r. na Wydziale Elektrycznym o kierunku Automatyka i Robotyka. Od 2011 r. jest na studiach doktoranckich na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania. Jego zainteresowania obejmują nowoczesne metody cyfrowego przetwarzania obrazów, projektowanie urządzeń elektronicznych i mechatronicznych.

Mgr inż. Adam OW CZARKOWSKI – w 2011 r. ukończył studia na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Od tego czasu jest studentem studiów doktoranckich na tej samej uczelni. Jego praca głównie skupia się na teorii sterowania nieliniowego i implementacji jej w rzeczywistych układach robotycznych.



Mgr inż. Roman REGULSKI – doktorant w Zakładzie Urządzeń Mechatronicznych na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Absolwent kierunku Mechatronika w tej samej jednostce. Zainteresowania naukowe: mechatronika, sterowniki mikroprocesorowe, automatyczne systemy rozpoznawania mowy, sterowanie głosowe, elektrohydraulika, pneumatyka, programowanie, sterowniki PLC.

