

Dr Barbara Siemiątkowska  
Instytut Podstawowych Problemów  
Techniki PAN

Prof. dr hab. inż. Robert Kosiński  
Centralny Instytut Ochrony Pracy

## METODA AUTOMATYCZNEGO WYKRYWANIA POŁOŻENIA RAMIENIA ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

*W poniższym opracowaniu przedstawiony zostanie projekt automatycznego wykrywania położenia ramienia robota przemysłowego. Informacja o położeniu ramienia będzie wykorzystywana w systemie ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy i umożliwi zbudowanie układu w którym strefa bezpieczeństwa będzie zmieniać się dynamicznie zależnie od położenia ramienia.*

### METHOD OF AUTOMATIC LOCALIZATION OF INDUSTRIAL ROBOT'S ARM

*The paper presents a new method of an industrial robot's arm localization. Information about the arm's position enable to built a very efficient system of safety control. In the system significant reduction of the safety area is possible because it changes dynamically according to the present robot's arm position.*

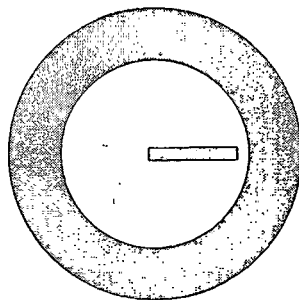
#### 1. WSTĘP

Wraz ze wzrostem automatyzacji procesów produkcyjnych zwiększa się zapotrzebowanie na nowoczesne i elastyczne systemy ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy. W działających obecnie zabezpieczeniach strefa bezpieczeństwa jest statyczna. Aby stworzyć możliwość elastycznego doboru strefy bezpieczeństwa należy zbudować system automatycznego wykrywania położenia urządzenia pracującego np. ramienia robota przemysłowego. Rysunek 1 przedstawia zaznaczoną kolorem szarym strefę bezpieczeństwa w przypadku stosowania klasycznych metod. Naruszenie tej strefy powoduje automatyczne zatrzymanie pracującego urządzenia. Rysunek 2 przedstawia strefy bezpieczeństwa przy różnych położeniach ramienia robota przemysłowego w przypadku, gdy stosowane są metody elastycznego doboru obszarów chronionych.

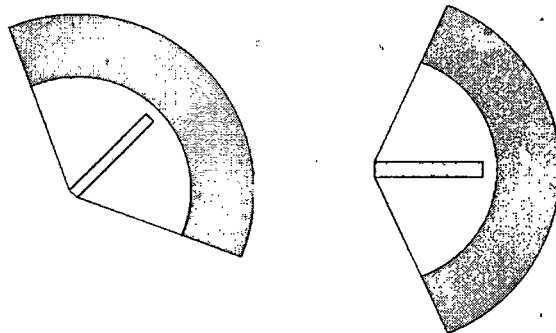
W niniejszej pracy proponujemy stworzenie wizyjnego systemu ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy, w którym zakłada się, że obszar bezpieczeństwa będzie zależał od położenia ramienia robota przemysłowego. Przedstawione przez autorów poniższego artykułu badania są kontynuacją prac prezentowanych w [6,7] i dotyczą głównie metody wykrywania położenia ramienia robota przemysłowego.

Podstawową zaletą wizyjnych systemów bezpieczeństwa w porównaniu z powszechnie stosowanymi kurtynami świetlnymi jest duża ilość przekazywanej przez kamerę informacji. Dane te umożliwiają określenie nie tylko położenia i wielkości obiektów ruchomych, ale także zlokalizowanie ramienia robota przemysłowego. Czas reakcji systemów

bezpieczeństwa powinien być porównywalny z czasem reakcji człowieka – poniżej 100ms, a to wymaga stosowania specjalnych algorytmów przetwarzania obrazów.



Rys 1. Strefa bezpieczeństwa w klasycznym systemie bezpieczeństwa jest stała i otacza obszar ruchu ramienia robota

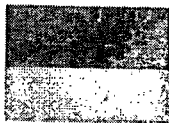


Rys 2. Strefa bezpieczeństwa w systemie wykorzystującym informację o położeniu ramienia robota przemysłowego jest dostosowywana do aktualnego położenia ramienia

## 2. ZNACZNIK POŁOŻENIA RAMIENIA

Zadanie rozpoznawania położenia ramienia robota przemysłowego można sprowadzić do problemu określania położenia ustalonego znacznika w otoczeniu. Przy doborze znacznika należy jednak uwzględnić fakt, że kształt i kolor ramienia zmienia się w zależności od typu robota oraz to, że kształt obiektu poruszającego się jest na obrazie zniekształcony. Ponadto w systemach bezpieczeństwa pracy czas reakcji systemu powinien być porównywalny z czasem reakcji człowieka, a więc krótszy niż 100ms, co nakłada dodatkowe ograniczenie na dobór znacznika. Biorąc pod uwagę powyższe fakty autorzy zdecydowali się na znacznik, który składa się z dwóch poziomych pasków o różnych barwach umieszczonych na ramieniu robota. Aby kolory mogły być łatwo rozróżnialne przyjęto, że są one barwami nasyconymi o maksymalnej odległości w przestrzeni barw np. (255,0,0) i (0,255,0). Liczby określają poziom nasycenia barw RGB. Nachylenie prostej przechodzącej przez środki ciężkości obu pasków w sposób jedno-

znaczny określa orientację ramienia robota. Rysunek 3 przedstawia przykładowy model znacznika.

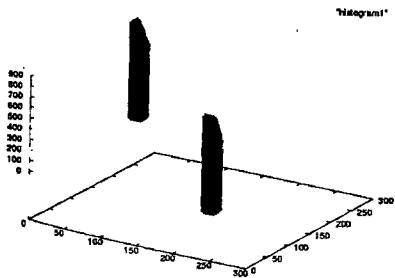


Rys. 3 Znacznik składa się z dwóch pasków o barwach nasyconych (przyjęto  $R$  i  $B$ )

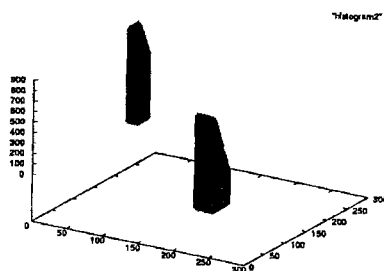
W celu zredukowania wpływu zmian oświetlenia stosujemy znormalizowaną przestrzeń barw [1]:

$$(r, b) = \left( \frac{R}{R+G+B}, \frac{B}{R+G+B} \right)$$

Do wykrywania sztucznych znaczników stosowane są różne metody – analiza kształtu, analiza barw[2,4,5,8]. Większość z nich jest albo zbyt czasochłonna obliczeniowo, aby mogła być stosowana w przypadku systemów bezpieczeństwa, lub też metody te nie są odporne na występujące w obrazie zakłócenia związane z przemieszczaniem się obserwowanych przez kamerę obiektów. Autorzy zdecydowali się na zastosowanie prostej obliczeniowo metody porównywania histogramów. W przypadku, gdy znacznik składa się z dwu barw to w tworzonym histogramie występują dwa maksima, które są ściśle związane z rozkładem barw głównych. W przypadku obrotu lub skalowania znacznika postać histogramu zmienia się w niewielkim stopniu. Rysunek 4 przedstawia postać histogramu w przypadku znacznika umieszczonego równoległe do osi  $OX$ , a rysunek 5 postać histogramu dla obrazu obróconego o  $45^\circ$ . Na osi  $OX$  zaznaczono nasycenie barwy  $R$ , na osi  $OY$  nasycenie  $B$ , a na osi  $OZ$  przedstawiono ilość pikseli o danym rozkładzie  $(r, b)$ .



Rys. 4 Histogram obrazu znacznika z pasków czerwonego ( $R$ ) i niebieskiego ( $B$ ) w przypadku poziomego położenia znacznika



Rys. 5 Histogram dla tego samego znacznika jak na rys. 4, obróconego o  $45^\circ$

### 3. WYKRYWANIE POŁOŻENIA RAMIENIA ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

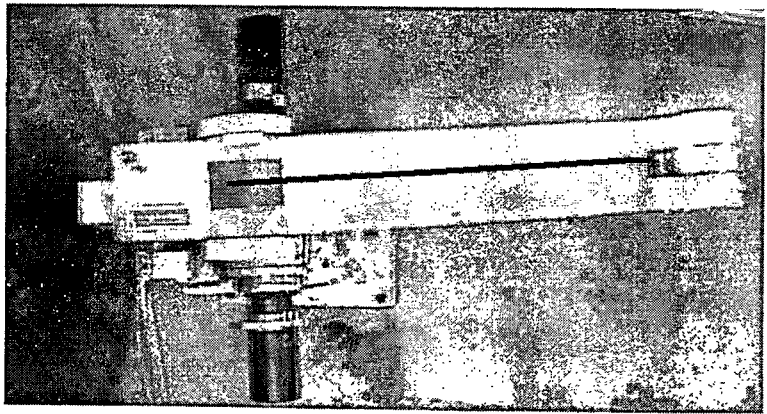
W pierwszej fazie działania systemu obszar w którym może znajdować się ramię robota dzielony jest na prostokątne podobszary, których wymiary są mniejsze niż wymiar znacznika. Dla każdego z nich obliczany jest histogram, a następnie wybierany jest obszar którego histogram jest najbardziej zbliżony do histogramu znacznika. Do wyznaczonego obszaru dołączane są obszary sąsiednie. Następnie w wyznaczonym fragmencie obrazu poszukuje się grup pikseli o zadanych barwach np. (0,0,255) i (255,0,0). Obliczane są środki ciężkości  $(S_x^R, S_y^R)$  i  $(S_x^B, S_y^B)$  grup pikseli zgodnie ze wzorem:

$$S_x^R = \frac{\sum X_i^R}{N} \quad S_y^R = \frac{\sum Y_i^R}{N} \quad S_x^B = \frac{\sum X_i^B}{M} \quad S_y^B = \frac{\sum Y_i^B}{M}$$

gdzie: N jest liczbą pikseli o barwie czerwonej,  $X_i^R$  jest współrzędną X i-tego piksela o barwie czerwonej,  $Y_i^R$  jest współrzędną Y i-tego piksela o barwie czerwonej. M jest liczbą pikseli o barwie niebieskiej, a  $(X_i^B, Y_i^B)$  są współrzędnymi i-tego piksela o tej barwie.

Jeśli przyjmiemy się, że jedna z barw np. B jest umieszczona bliżej osi obrotu, to orientacja ramienia robota przemysłowego wyznaczona przez kąt nachylenia wektora:  $[S_x^R - S_x^B, S_y^R - S_y^B]$  zaczepionego w punkcie  $(X_i^B, Y_i^B)$  do osi OX. Długość wektora zależy od długości ramienia robota przemysłowego.

Sposób przemieszczania się robota przemysłowego jest ściśle określony, dlatego po pierwszym wykryciu znacznika, obszar poszukiwań może zostać znacznie zawężony. Na podstawie znajomości położenia ramienia w poprzednim kroku czasowym przewiduje się jego położenie w kroku następnym. W predykcji można zastosować klasyczne systemy regulowe lub sieci neuronowe. Rysunek 5 przedstawia ramię robota z zaznaczonym znacznikiem, a czarna kreska pokazuje wykryte przez opisywany system położenie.

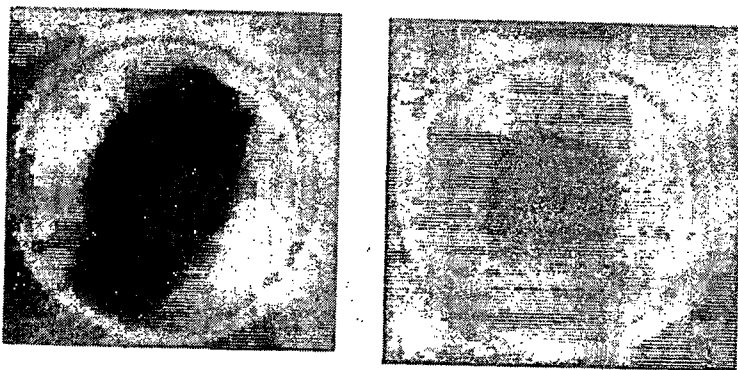


Rys. 6 Ramię robota z umieszczonym znacznikiem

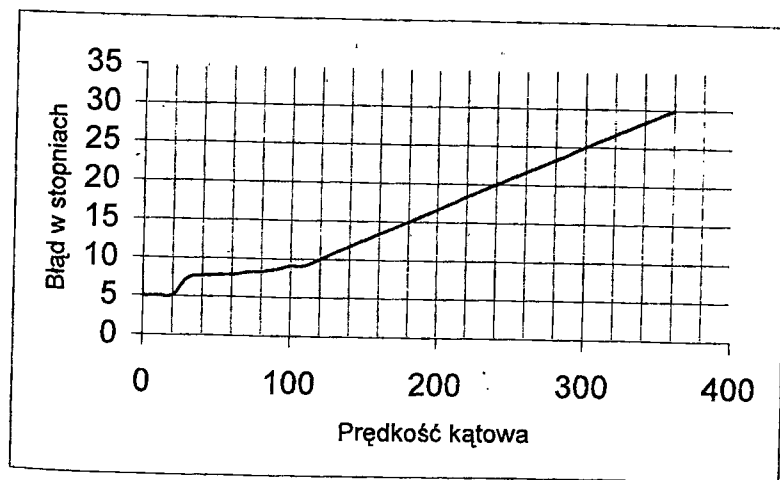
#### 4. EKSPERYMENTY

W przeprowadzonych eksperymentach obliczano czas niezbędny do obliczenia położenia ramienia robota przemysłowego oraz wpływ prędkości kątowej ramienia na dokładność lokalizacji. Testy wykonano na komputerze z procesorem *Duron* i zegarem 800MHz.

Czas potrzebny do określenia położenia ramienia bez stosowania predykcji wynosi ok. 40ms, dla obrazu 512X512. Aby przyspieszyć działanie algorytmu w prowadzonych pracach porównuje się jedynie położenia maksimum histogramu. Jeśli dokonuje się predykcji położenia znacznika to czas potrzebny do jego lokalizacji wynosi poniżej 10ms i jest wystarczająco krótki, aby algorytm mógł działać w czasie rzeczywistym.



a) b)  
Rys 7. Obraz znacznika dla różnych prędkości kątowych



Rys 8. Błąd lokalizacji dla różnych prędkości ramienia

Kolejnym zadaniem jakie należy rozwiązać jest badanie wpływu prędkości kątowej ramienia na dokładność wykrywania położenia ramienia. W prowadzonych eksperymentach stosowano kamerę w której obraz jest zbierany w dwu fazach – na początku określone jest natężenie barwy R linii parzystych, następnie barwy G oraz B, w kolejnym kroku opisana operacja jest wykonywana dla linii nieparzystych. W wyniku takiego sposobu zbierania obrazu obiekty poruszające się z bardzo dużą prędkością są rozmyte. Rysunek 7a przedstawia obraz znacznika w przypadku, gdy prędkość obrotowa obiektu na którym jest umieszczony nie przekracza  $360^{\circ}/s$ , a rysunek 7b obraz dla obiektu o prędkości kątowej powyżej  $720^{\circ}/s$ .

W przypadku prędkości kątowych powyżej  $720^{\circ}/s$  opisywana metoda nie może być stosowana w procesie lokalizacji, gdyż zniekształcenia obiektu są zbyt duże. Dla prędkości poniżej  $360^{\circ}/s$  dokładność lokalizacji przedstawia wykres 8. Dokładność lokalizacji może zostać zwiększona, jeśli oprócz danych z kamery uwzględniane będą dane o orientacji ramienia w poprzednich krokach.

## 5. WNIOSKI

Opisana w pracy metoda lokalizacji ramienia robota umożliwia ustalenie strefy bezpieczeństwa pracy w sposób elastyczny i zależny od położenia ramienia robota przemysłowego. Zastosowany algorytm identyfikuje współrzędne ruchomych części pracującego urządzenia w czasie rzeczywistym przy założeniu, że prędkość kątowa nie przekracza  $720^{\circ}/s$ . Błąd lokalizacji jest związany z prędkością kątową ramienia robota, w przypadku prędkości  $360^{\circ}/s$  nie przekracza  $30^{\circ}$ .

## 6. LITERATURA

- [1] R. Sim, G. Dudek, „Mobile robot localization from learned landmarks”, *IEEE Conf. On Intelligent robots and Systems*, pp. 1060-1065, 1998
- [2] K. Yoon, G. Jang, S. Kim, “Fast Landmark Tracing and Localization Algorithm for Mobile Robot Self-localization”, *IAFC*, pp. 190-195, 2001
- [3] Mallet, P., and Aubry, P., “A low-cost localization system based on a map matching technique”, *Intelligent Autonomous Systems 4*, IOS Press, Amsterdam, pp. 72-77, 1995
- [4] B. Kreczmer, M. Wnuk, B. Zawadzki, “Simulator for multi-vision systems determining a depth map”, *Proceedings of Fourth International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics*, vol. 2, pp. 691-696, Międzyzdroje, 2000
- [5] Gonzalez R. C., *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, Reading MA, 1992.
- [6] Siemiątkowska B., Kosiński R., „Wizyjny system ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy”, *Krajowa Konferencja Robotyki*, Łądek Zdrój 2001, pp. 101-107
- [7] B. Siemiątkowska, R. Kosiński „Inteligentny system ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy”, *Automation 2002*, 2002.
- [8] Thrun S. „Finding Landmark for Mobile Robot Navigation”, *ICRA*, 958 – 963, 1998