

prof. dr hab. inż. R.A.Kosiński^{a,b},

mgr inż. A.Grabowski^a

dr B. Siemiatkowska^c

^aCentral Institute for Labour Protection - National Research Institute

^bFaculty of Physics, Warsaw University of Technology

^cInstitute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences,

DWUKAMEROWY, NEURONOWY SYSTEM BEZPIECZYSTWA DO WYKRYWANIA SYTUACJI NIEBEZPIECZNYCH NA ZAUTOMATYZOWANYCH STANOWISKACH PRACY

W systemie obraz z dwóch kamer umieszczonych nad robotem jest analizowany przez hybrydowy układ komórkowych sieci neuronowych (CNN) zrealizowany w komputerze klasy PC. Układ ten wykrywa pojawienie się nowego obiektu w polu bezpieczeństwa (SF), określa jego rozmiar i pozycję względem ramienia robota. W przypadku sytuacji zagrożenia CNN dostosowuje pracę robota do zaistniałych warunków.

TWO CAMERAS NEURAL SAFTY SYSTEM FOR THE ADVANCED RECOGNITION OF DANGER SITUATIONS ON AUTOMATIZED WORK STANDS

In the system the images from the two cameras located above the robot are analyzed by the hybrid system of cellular neural networks (CNN) realized in the PC computer. They detect a new object appearing in a Safety Field (SF), define its position with respect to the robot arm. In the case of danger situation the CNN modify the robot's work.

1. WSTĘP

Zautomatyzowane stanowiska pracy wyposażone w roboty są szeroko stosowane w przemyśle. W celu osiągnięcia niezakłóconej pracy robota wymagane jest zastosowanie odpowiednich systemów bezpieczeństwa, np. barier stałych lub kurtyn świetlnych. Systemy standardowe mają jednak sporo wad, które utrudniają współpracę człowieka z robotem. Prezentowany system może w sposób inteligentny rozpoznawać sytuację niebezpieczną, w szczególności w procesie tym uwzględnia się bieżące położenie ramienia robota. Gdy obiekt o określonych parametrach (rozmiar, prędkość) pojawia się w polu bezpieczeństwa otaczającym robota (SF), ramię zostaje spowolnione. Natomiast gdy obiekt ten znajdzie się w sektorze (RF) otaczającym ramię robota, robot zostaje zatrzymany. Tak więc system dynamicznie zmienia położenie RF w zależności od położenia ramienia robota.

rowego. W układzie dwukamerowym unika się także zbędnej analizy cieni, które są obiektami dwuwymiarowymi.

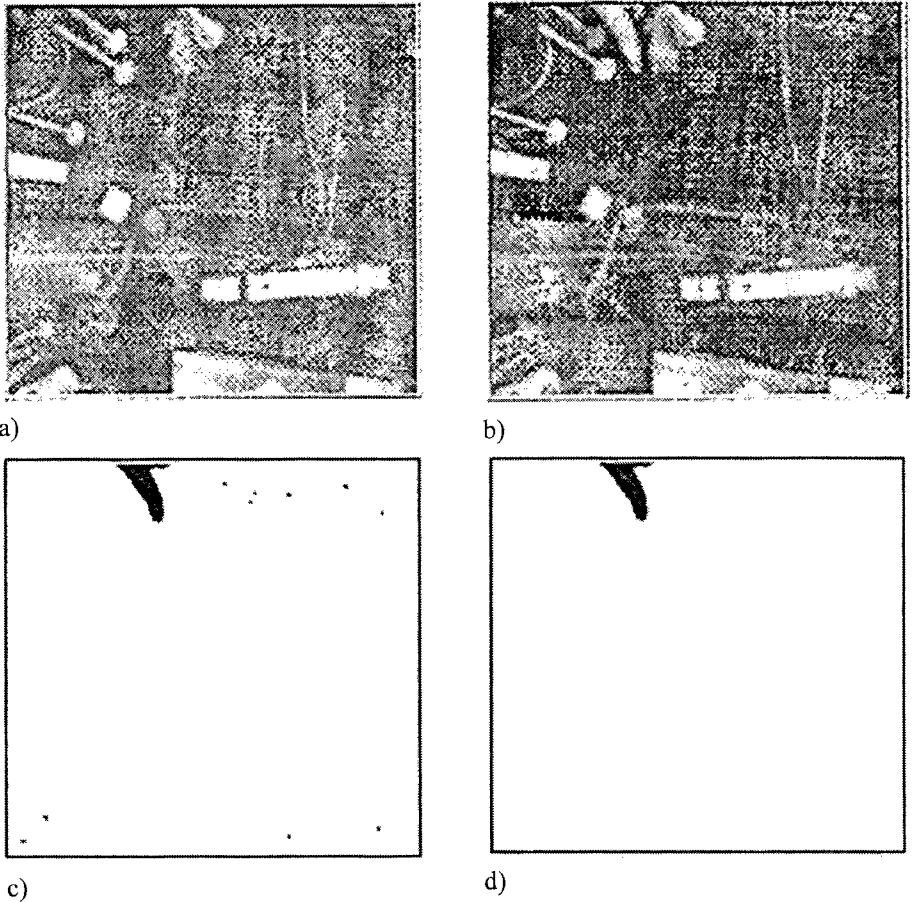


Fig. 2. Etapy wstępnego przetwarzania obrazu.

5. OBLICZANIE PARAMETRÓW OBIEKTU

Druga sieć CNN, połączona z pierwszą, oblicza rozmiar przedmiotu D . W celu redukcji czasu obliczeń rozmiar ten jest przybliżany przez długość przekątnej d prostokąta opisanego na obrazie przedmiotu.

Obliczenie prędkości obiektu jest oparte na wartościach położenia obiektu względem środka obrazu C w dwóch kolejnych krokach czasowych $s(t)$, $s(t+1)$.

$$v = \frac{s(t+1) - s(t)}{\Delta t} \quad (2)$$

gdzie $\Delta t = 40$ ms dla zastosowanych kamer.

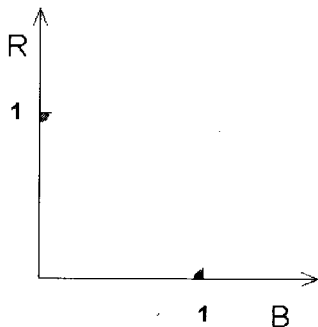
6. LOKALIZACJA RAMIENIA ROBOTA

W celu obliczenia trzeciego parametru jakim jest położenie obiektu względem ramienia robota, musimy znać bieżące położenie ramienia. Znajdujemy je na podstawie analizy kolorów obrazów pochodzących z centralnej kamery [3,8,9]. Wykorzystywany jest w tym celu dwukolorowy marker umieszczony w pobliżu osi obrotu ramienia robota. Marker ten składa się z dwóch równoległych pasków o czystych kolorach na płaszczyźnie (R,B) jak to pokazuje rysunek 3.

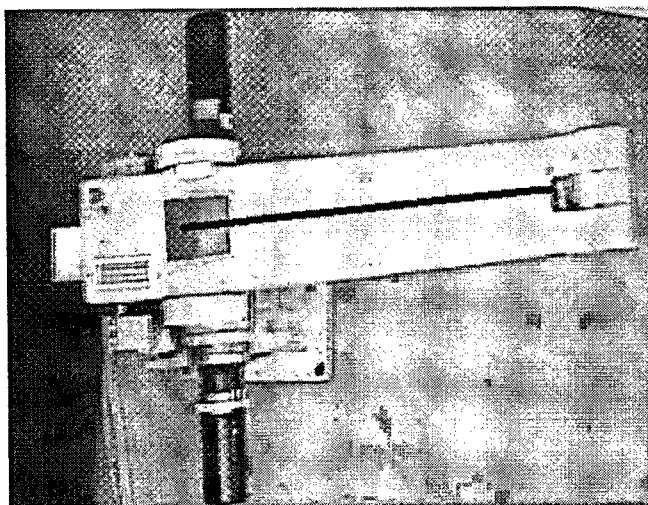
Warto zauważyć, że takie położenie markera redukuje zniekształcenia jego obrazu wywołane ruchem obrotowym ramienia. Przy pomocy sieci Kohonena znajdowane są środki paska czerwonego (x_r, y_r) i paska niebieskiego (x_b, y_b), skąd obliczana jest bieżąca orientacja ramienia φ z zależności

$$\varphi = \arctan\left(\frac{y_r - y_g}{x_r - x_g}\right) \quad (3)$$

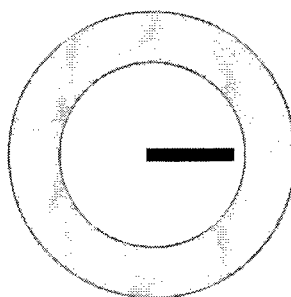
Obliczona orientacja ramienia zaznaczona jest czarną linią na rys.4.



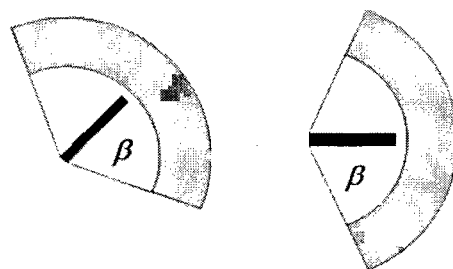
Rys.3. Kolory markera na tablicy przeglądowej we współrzędnych (R,B)



Rys.4. Wygląd markera i obliczona bieżąca orientacja ramienia (czarna linia)



Rys. 5. Strefa zagrożenia (RF) w przypadku klasycznego systemu bezpieczeństwa pokrywa się z polem bezpieczeństwa (SF)



Rys.6. Zredukowana strefa zagrożenia (RF) jest wycinkiem koła o kącie rozwarcia β i jest ona dynamicznie zmieniana zgodnie z bieżącym położeniem ramienia.

7. UKŁAD DECYZYJNY

Zautomatyzowane stanowiska pracy wyposażone w roboty są szeroko stosowane w przemyśle. W przypadku klasycznych systemów bezpieczeństwa rozmiar strefy zagrożenia (RF), której naruszenie łączy się z zatrzymaniem robota pokrywa się z rozmiarem pola bezpieczeństwa (SF) - rys.5. W naszym systemie obliczamy jednak bieżące położenie ramienia robota i strefa (RF) może być zredukowana do wycinka koła o kącie rozwarcia β (zależnym od prędkości kątowej ramienia). Jej położenie zmienia się w czasie jak to pokazuje rys.6.

Następujące zasady są użyte do klasyfikacji sytuacji w otoczeniu robota:

1. Jeśli jakiś obiekt pojawi się w (RF), jego rozmiar przekracza D_o , a prędkość jest z zakresu $[v_{\min}, v_{\max}]$ – sytuacja jest klasyfikowana jako niebezpieczna
2. Jeśli jakiś obiekt pojawi się w obszarze (SF)-(RF), jego rozmiar przekracza D_o , a prędkość jest z zakresu $[v_{\min}, v_{\max}]$ – sytuacja jest klasyfikowana jako potencjalnie niebezpieczna
3. W przeciwnych przypadkach sytuacja jest bezpieczna

W pierwszym przypadku ramię robota jest zatrzymywane, w drugim spowalniane, w ostatnim praca robota pozostaje niezakłócona.

8. EKSPERYMENTY

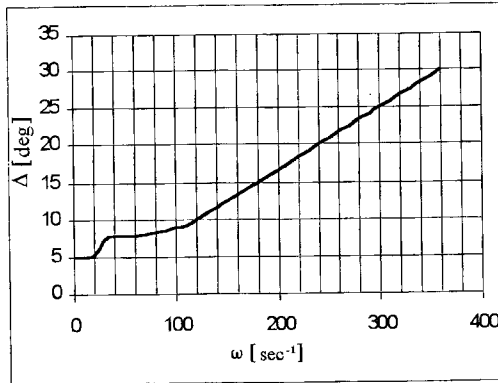
Eksperymenty były przeprowadzane przy użyciu robota przemysłowego IRP 10, komputera PC (1GHz), *frame-grabbera* firmy Matrox i dwóch kamer cyfrowych (Sony - DCR-TRV-130E). Kamery te umożliwiają analizę obrazu w przeciągu 40 ms, niezależnie od położenia i prędkości obiektu. Algorytm napisany jest w języku C++.

W tabeli 1 pokazano czułość systemu. Podane są zależności pomiędzy promieniem R pola (SF), minimalnym rozmiarem obiektu D_o i minimalną prędkością v_{\min} , które mogą być rozpoznane przez system,

Tabela 1

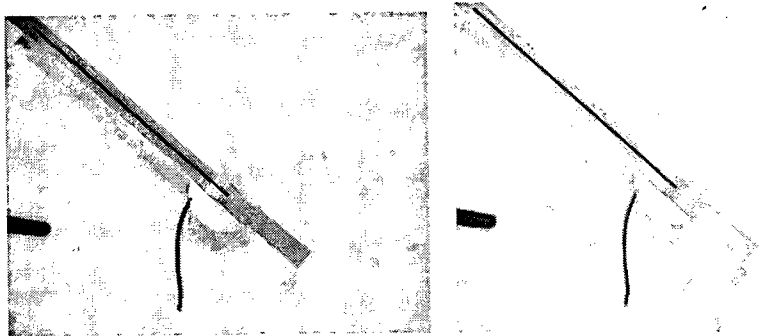
R [m]	v_{\min} [m/sec]	D_o [cm]
1.5	0.14	0.6
2.5	0.25	1.0
5.0	0.5	2.0

Rysunek 7 pokazuje niepewność określenia położenia ramienia robota Δ w funkcji jego prędkości kątowej ω . Jak widzimy dla największej prędkości kątowej ramienia Δ osiąga 30° , tak więc kąt β pola (RF) równy 60° jest wystarczający.



Rys.7. Niepewność określenia położenia ramienia robota Δ w funkcji jego prędkości kątowej ω .

Na rysunku 8 przedstawione są wyniki badań dotyczących wpływu oświetlenia stanowiska pracy robota na proces lokalizacji ramienia. Stwierdzono, że lokalizacja położenia ramienia robota jest skuteczna w szerokim zakresie oświetlenia stanowiska pracy od 80 lx do 500 lx (średnie oświetlenie zautomatyzowanego stanowiska pracy jest rzędu 300 lx). To znaczy, że nasz system nie wymaga specjalnych warunków oświetlenia. Ekstrakcja cech (D i v) obiektów pojawiających się w polu SF była przeprowadzana w szerokim zakresie wartości oświetlenia.



Rys.8. Wykrywanie bieżącej orientacji ramienia robota (czarna linia) dla dwóch wartości oświetlenia 80 lx i 500 lx (rysunek lewy i prawy, odpowiednio)

9. WNIOSKI

System bezpieczeństwa przedstawiony w tej pracy może być używany dla robotów przemysłowych różnych typów i dla różnych procesów technologicznych. Użytkownik może określać parametry pracy systemu: R – promień pola bezpieczeństwa (SF), r – promień pola pracy (WF), wartości te dostosowane są do typu robota. Następnie określa się wymiar minimalny D_0 i zakres prędkości $[v_{\min}, v_{\max}]$ obiektów pojawiających się w sąsiedztwie robota, które mogą stworzyć zagrożenie. System zapamiętuje informacje o zaistniałych sytuacjach niebezpiecznych w celu ich późniejszej analizy.

Jak wynika z eksperymentów, opracowany system bezpieczeństwa oparty na komórkowych sieciach neuronowych może efektywnie pracować w czasie rzeczywistym. Czas analizy obrazów przeprowadzany przez system jest krótszy niż 100 ms. Prezentowany system jest inteligentnym narzędziem do zapobiegania wypadkom, a także zapobiegania przypadkowym zakłóceniom ciągłości procesu technologicznego, na zautomatyzowanych stanowiskach pracy wyposażonych w roboty przemysłowe. System ten może być stosowany również do innych celów, jak inteligentny nadzór pomieszczeń i budynków, i wydaje się, że jest on konkurencyjny w stosunku do standardowych systemów bezpieczeństwa.

10. LITERATURA

- [1] G.Morgan, J.Austin, "Safety Critical Neural Network", Proc. of Int. Conf on Neural Network, Cambridge, 1995, pp. 212-218
- [2] R.Kiuvanen, "Methodology for Simultaneous Robot Safety System Design", VVT Publications, Espoo, vol. 219, 1995
- [3] C.M.Bishop, "Neural Networks for Pattern Recognition", Clarendon Press, Oxford, 1995
- [4] L.O.Chua, "CNN – a Paradigm for Complexity", World Sci., Singapore, 1998
- [5] L.O.Chua and L.Young, IEEE Trans. CAS, vol. 10, 1988, pp.1257 –1271
- [6] B. Kreczmer, M. Wnuk, B. Zawadzki, "Simulator for multi-vision systems determining a depth map", Proc.of Fourth Intern. Symposium on Optimization Methods, 2001, Kule, Poland
- [7] Thrun S., "Finding Landmark for Mobile Robot Navigation", ICRA, 1998, pp.958 – 963
- [8] R. Sim, G. Dudek, "Mobile robot localization from learned landmark", IEEE Conf. On Intelligent robots and Systems, 1998, pp. 1060-1065
- [9] Gonzalez R. C., "Digital Image Processing", Adison-Wesley, Reading MA, 1992