

INTELIĞENTNY SYSTEM OCHRONY ZROBOTYZOWANYCH STANOWISK PRACY

Celem projektu jest zbudowanie architektury wizyjnego systemu ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy. Otoczenie robota jest obserwowane przez zawieszoną kamerę. Obrazy są przekazywane do komputera i analizowane. Obliczany jest szereg parametrów opisujących sytuację – wielkość i prędkość obiektu oraz jego odległość od ramienia robota. W omawianym projekcie skoncentrowano się na wykrywaniu relacji między pojawiającym się obiektem, a ramieniem robota przemysłowego.

INTELLIGENT SYSTEM OF SAFETY CONTROL

The paper presents a new method of safety control. The industrial robot's surrounding is observed by TV camera, the images are transmitted to a computer and they are analyzed. Following parameters are computed: a size of moving object, its velocity, a distance between the object and the arm of the robot. Rule based system is build in order to classify the situation.

1. WSTĘP

Rozwój techniki powoduje, że w procesach produkcyjnych stosowane są urządzenia pracujące bez bezpośredniego nadzoru człowieka. Wykorzystywanie tego typu automatów powoduje jednak powstanie różnego typu zagrożeń i dlatego obecnie dużo uwagi poświęca się opracowaniu nowych i rozwijaniu istniejących metod zapobiegania wypadkom [1][4]. Współcześnie najczęściej stosowane są bezdotykowe urządzenia ochronne, które możemy podzielić na dwie podstawowe grupy:

- urządzenia aktywne – generujące własne promieniowanie np. kurtyny świetlne, skanery laserowe lub ultradźwiękowe;
- urządzenia bierne – wykorzystujące promieniowanie otoczenia np. czujniki podczerwieni lub systemy wizyjne.

Układy stosowane w bezpieczeństwie pracy muszą spełniać szereg wymagań, do najważniejszych należy:

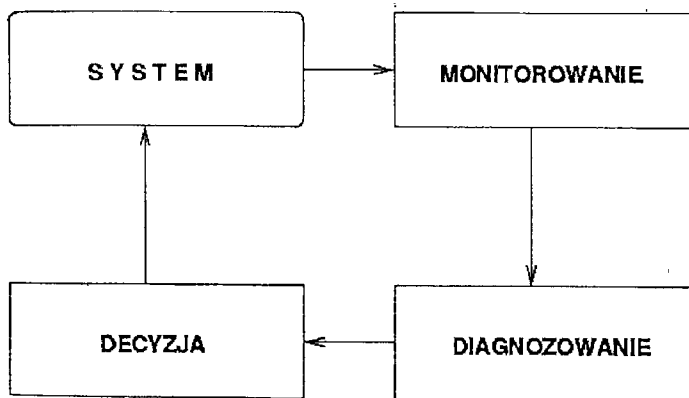
- niezawodność;
- krótki czas reakcji systemu;
- łatwość montażu;
- odporność na przypadkowe zakłócenia;
- możliwość elastycznego doboru parametrów pracy urządzenia zależnie od typu nadzoru.

System bezpieczeństwa możemy podzielić na trzy współpracujące ze sobą moduły: monitorowanie, diagnozowanie, decyzja.

Monitorowanie – to proces obserwowania zjawisk zachodzących w środowisku. W procesie tym podstawową rolę odgrywa dobór odpowiedniego zestawu czujników rejestrujących zachodzące zdarzenia.

Diagnozowanie – proces, który na podstawie danych dostarczonych przez moduł monitorujący, określa typ zdarzeń zachodzących w danym środowisku.

Decyzja – to moduł, który na podstawie danych o zachodzących zdarzeniach określa jaka powinna być reakcja systemu.



Rysunek
1:
*Schemat
systemu
bezpieczeństwa*

2. O GÓLNY SCHEM AT

SYSTEMU

W prowadzonych przez nas badaniach urządzeniem monitorującym jest kamera zawieszona nad stanowiskiem pracy robota przemysłowego. Uzyskiwane z kamery obrazy są przekazywane do komputera. We wstępnej fazie uruchamiania systemu użytkownik programu powinien zaznaczyć wszystkie te podobszary, w których mogą znajdować się elementy ruchome np. wózki transportowe. Powinna zostać również wprowadzona informacja o parametrach systemu takich jak: maksymalna wielkość elementu ruchomego, prędkość, odległość od ramienia robota. Następnie rozpoczyna się proces diagnozowania - analizy napływających obrazów. Schemat algorytmu jest następujący:

- 1 Przed rozpoczęciem pracy systemu do komputera wprowadzony zostaje obraz referencyjny (bez obiektów ruchomych) otoczenia robota przemysłowego.
- 2 Kolejne obrazy obserwowanego stanowiska pracy są przesyłane do komputera i porównywane (odejmowane) z obrazem referencyjnym.
- 3 Wynik odejmowania jest progowany, wielkość progów jest dobierana doświadczalnie.
- 4 Usuwany jest szum drobnoziarnisty.
- 5 W wyniku przeprowadzenia operacji 1 – 4 otrzymujemy obraz binarny, który jest całkowicie czarny, jeśli w otoczeniu robota nie pojawił się żaden nowy obiekt. Jeśli jednak na obrazie występuje nowy element, to proces analizy jest kontynuowany.

W prowadzonych wcześniej pracach [6] proponowaliśmy obliczanie długości przekroju obiektu i jego prędkości. Przeprowadzone testy wykazały, że obliczanie maksymalnego przekroju jest dość czasochłonne i dlatego zastąpiono ten parametr polem obiektu. Analizując sytuacje na zrobotyzowanym stanowisku pracy ustalono, że o stanie zagrożenia

świadczy nie tylko wielkość i prędkość obiektu naruszającego strefę bezpieczeństwa, ale też odległość elementu od ramienia robota. Dlatego w prowadzonych obecnie badaniach skoncentrowano się na opracowaniu efektywnego algorytmu znajdowania położenia ramienia robota.

W omawianym projekcie modułem decyzyjnym jest system regulowy. W przypadku wykrycia sytuacji niebezpiecznej ramię robota jest zatrzymywane. Przyjęto założenie, że sytuacja jest niebezpieczna, jeśli prędkość obiektu i jego pole nie przekraczają wartości zadanych przez użytkownika systemu, a odległość normalna między ruchomym obiektem, a ramieniem robota jest mniejsza niż dopuszczalna. Opisany zbiór reguł może być łatwo wzbogacany i modyfikowany przez operatora systemu.

3. WYKRYWANIE RAMIENIA ROBOTA

Wykrywanie ruchomego ramienia robota nie jest zadaniem trywialnym, gdyż kształt poruszającego się z dużą prędkością obiektu często jest zniekształcony na obrazie. Jednocześnie czas reakcji systemu powinien być możliwie krótki, nie można więc stosować skomplikowanych i czasochłonnych technik analizy.

Na początku naszych prac przyjęliśmy założenie, że ponieważ ramię robota ma kształt zbliżony do prostokąta, będziemy stosować transformatę Hough'a, która jest powszechnie wykorzystywana do wykrywania linii na obrazach. Niestety w wyniku stosowania transformaty oprócz krawędzi ramienia robota jest wykrywanych wiele innych prostych. Znalezienie linii opisujących ramię robota było zadaniem bardzo czasochłonnym, w przeprowadzonych testach czas analizy obrazu przekraczał kilka sekund.

Kolejne próby polegały na wprowadzeniu znaczników. W początkowej fazie projektu korzystano z monochromatycznej kamery Pulnix i przyjęto założenie, że znaczniki będą czarnymi kołami. Zastosowano metodę momentów 2-rzędu, aby odróżnić znaczniki od innych obiektów czarnych występujących w otoczeniu robota. Okazało się, że w wyniku ruchu kształt znacznika ulega dużej deformacji i odróżnienie go od innych obiektów jest zadaniem bardzo czasochłonnym, a więc nie może być wykonane przy istniejących silnych ograniczeniach czasu reakcji systemu.

W kolejnym kroku zdecydowano się na zmianę kamery na kamerę kolorową, na początku i końcu ramienia robota przemysłowego umieszczone zostały znaczniki o unikalnym kolorze. Napływające z kamery obrazy są przekształcane w ten sposób, że piksele o danym kolorze dzieli się na grupy zależności od ich wzajemnej odległości. W opracowywanym algorytmie zastosowano metodę stosowaną do grupowania danych pomiarowych i opublikowaną w [5]. Idea działania algorytmu jest następująca:

1. Obraz jest progowany –w wyniku tej operacji na obrazie wyróżnione zostają piksele o zdanym zakresie barw;
2. Usuwany jest szum drobnziarnisty;
3. Przeglądane są kolejne piksele obrazu;
4. Jeśli piksel ma kolor znacznika, to zapamiętywane są jego współrzędne i traktowane są one jako środek ciężkości znacznika;
5. Poszukiwany jest kolejny piksel o zadanym kolorze;
6. Sprawdzana jest odległość między pikselem, a obliczonym w poprzednim kroku środkiem ciężkości;
7. Jeśli obliczona odległość jest mniejsza niż zadany próg, to modyfikowane jest położenie środka ciężkości zgodnie ze wzorem :

$$S_x = \frac{\bar{s}_x \cdot n + x}{n+1} \quad (1)$$

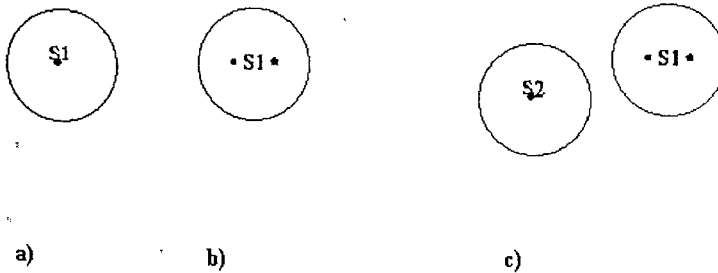
$$S_y = \frac{\bar{s}_y \cdot n + y}{n+1} \quad (2)$$

gdzie n – jest liczbą pikseli należących do skupiska, para (S_x, S_y) określa współrzędne obliczonego środka ciężkości, (\bar{s}_x, \bar{s}_y) – współrzędne środka ciężkości obliczonego w poprzednim kroku.

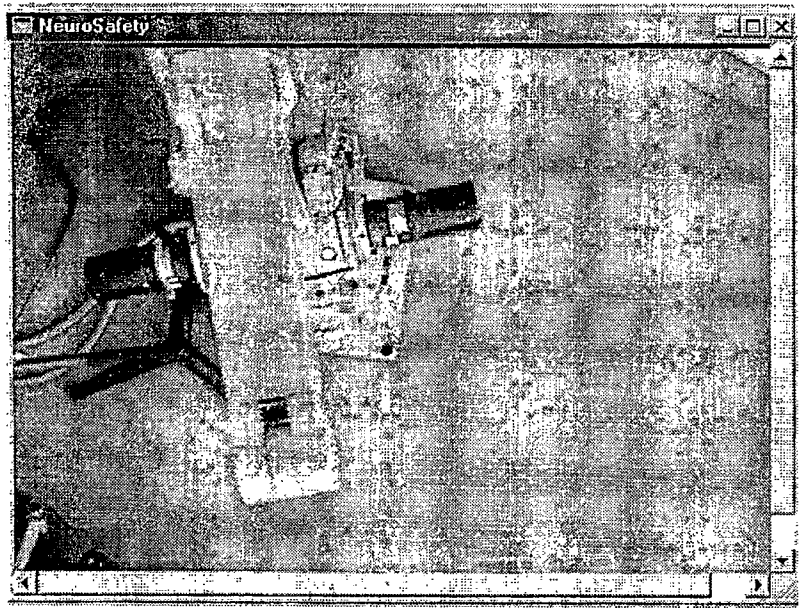
8. Jeśli odległość między danym środkiem ciężkości, a pikselem jest większa niż zadany próg to piksel wskazuje nam położenie kolejnego znacznika;
9. W kolejnych krokach sprawdzana jest odległość pikseli o zadanym kolorze od środków ciężkości znaczników, współrzędne są modyfikowane ze wzorem (1).

Rysunek 2 przedstawia ideę metody. W chwili początkowej znaleziono tylko jeden punkt o zadanym kolorze i jego współrzędne wskazują początkowe położenie środka ciężkości znacznika ($S1$). Odległość kolejnego punktu od $S1$ nie przekracza dopuszczalnej wartości (promienia zaznaczonego okręgu), a więc przyjmuje się, że piksele należą do tej samej grupy i modyfikowane jest położenie środka ciężkości (rys. 2b). Kolejny punkt znajduje się od $S1$ dalej niż zadana wartość, a więc obliczany jest środek ciężkości kolejnego znacznika.

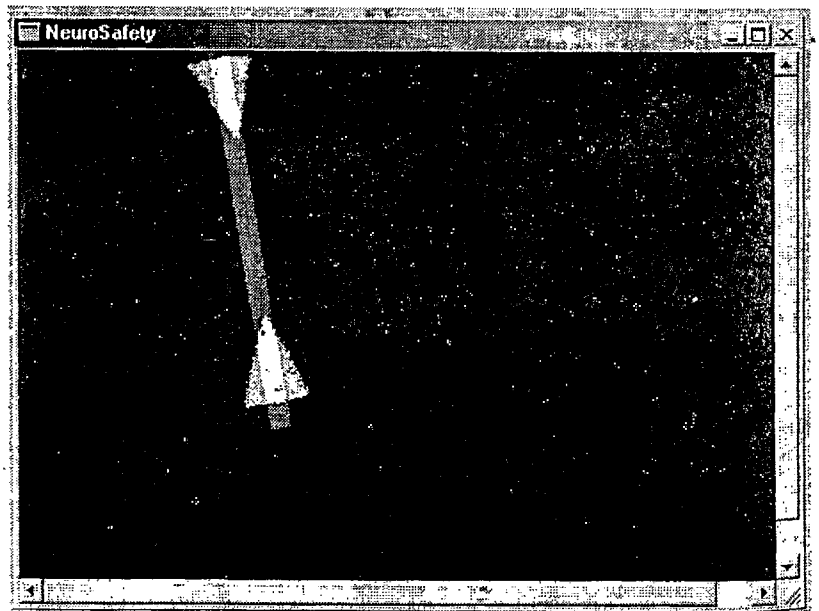
W wyniku stosowania opisanego algorytmu otrzymujemy współrzędne środków ciężkości dwóch znaczników. Współrzędne te w sposób jednoznaczny określają położenie ramienia robota. Jeśli otrzymamy więcej niż dwa skupiska pikseli o zadanym kolorze, to znaczniki składające się ze zbyt małej liczby punktów są pomijane.



Rys. 2 Wykrywanie położenia ramienia



Rysunek 3: *Obraz z kamery*



Rysunek 4: *Położenie znaczników i ramienia robota*

4. EKSPERYMENTY

W przeprowadzonych eksperymentach obliczano czas niezbędny do obliczenia położenia znaczników, przeprowadzono testy dla znaczników o różnej wielkości. Przy dość dużych markerach, składających się z 2500 pikseli czas potrzebny do ich wykrycia wynosi ok. 10ms i jest wystarczająco mały, aby algorytm mógł działać w czasie rzeczywistym. Testy wykonano na komputerze z procesorem *Duron* i zegarem 800MHz. Na rysunku 3 przedstawiono obraz z kamery. Na ramieniu robota umieszczono trójkątne znaczniki. Rysunek 4 przedstawia wynik działania algorytmu wykrywania znaczników. Gruba linia określa obliczone położenie ramienia. Opisana metoda jest odporna na zaburzenia kształtu znaczników. Szum nie powoduje znaczących zmian wykrytego położenia ramienia. Czas reakcji całego systemu – pobrania i analizy dwóch, kolejnych obrazów nie przekracza 100ms. Czas ten może być krótszy, jeśli moduły przetwarzania obrazu zostaną zaimplementowane w postaci realizowanej sprzętowo sieci komórkowej [2][3].

4 WNIOSKI

W pracy przedstawiono propozycję metody wykrywania sytuacji niebezpiecznych na zrobotyzowanym stanowisku pracy. Proponuje się wykorzystanie kamery jako urządzenia monitorującego. Zaproponowane algorytmy przetwarzania obrazów są wystarczająco efektywne, aby system mógł działać w czasie rzeczywistym. W wyniku pracy modułu analizującego określone zostają wartości szeregu parametrów – wielkość i prędkość obiektu oraz jego położenie względem ramienia robota. Obliczone wielkości umożliwiają stworzenie elastycznego i efektywnego systemu ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy.

5 LITERATURA

- [1] The application of electric systems to machinery, *Guidance Note PM41 from Health and Safety Executive*, July 1984
- [2] Chua L. and L. Young, Cellular Neural Networks, *IEEE Trans. CAS*, 35 no. 10 pp. 1257-1272, 1988.
- [3] Marchese F., Cellular automata in robot path planning, *Springer*, Berlin, LNCS 1240, pp116-125, 1997.
- [4] Dei-Svaldi D., Kneppert M., Vaurtin J. P., "Presence sensing systems used as protective devices", *INRS, Note Documentaire* no. 1044-86-77, 1995.
- [5] Gonzalez R. C., *Digital Image Processing*, Adison-Wesley, Reading MA, 1992.
- [6] Siemiątkowska B., Kosński R., „Wizyjny system ochrony zrobotyzowanych stanowisk pracy”, *Krajowa Konferencja Robotyki, Łądek Zdrój 2001*, pp.101-107