

dr inż. Andrzej Grabowski<sup>a</sup>  
 prof. dr hab. Robert Kosiński<sup>a,b</sup>  
 dr inż. Marek Dźwiarek<sup>a</sup>

(a) Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

(b) Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki

## **UKŁAD NEURONOWY ANALIZUJĄCY OBRAZY STEREOSKOPOWE W CELU IDENTYFIKACJI POŁOŻENIA PRACOWNIKA WZGLĘDEM STREF NIEBEZPIECZNYCH**

*Nowoczesne systemy produkcji stają się coraz bardziej elastyczne, wobec czego wymagają również elastycznych systemów bezpieczeństwa, które można łatwo dostosować do różnych procesów technologicznych. Właściwości takie posiadają wizyjne systemy bezpieczeństwa (VBPD - Vision Based Protective Devices). W niniejszej pracy przedstawiamy układ sztucznych sieci neuronowych do identyfikacji sytuacji niebezpiecznych. Sekwencja obrazów z dwóch kamer jest przesyłana do komputera PC, a następnie jest analizowana przez układ komórkowych sieci neuronowych (CNN) zrealizowany programowo. Układ ten wykrywa obecność nowego obiektu pojawiającego się w polu bezpieczeństwa (PB) i określa jego położenie i prędkość względem ruchomych elementów maszyny (takich jak np. ramię robota przemysłowego). Eksperymenty przeprowadzone z wykorzystaniem obrazów syntetycznych (wygenerowanych za pomocą technik rzeczywistości wirtualnej) i rzeczywistych obrazów o niskich parametrach jakościowych (kamery internetowe) wskazują, że prezentowany system jest w stanie dokonać prawidłowej identyfikacji sytuacji niebezpiecznej podczas pracy w czasie rzeczywistym.*

### **ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR WORKER PRESENCE IDENTIFICATION IN DANGEROUS ZONES USING STEREOVISION**

*Modern production processes becomes more and more flexible. Therefore there is a need that devices used in workplace also support flexibility as much as possible. Such characteristics have Vision Based Protective Devices (VBPDs). We present a neural system for the advanced recognition of danger situation for safety control. The sequence of the images from two cameras located above the work stand is presented to the system of cellular neural networks (CNNs) realized in the PC computer. They detect a new object appearing in a Safety Field (SF), define its position with respect to the moving parts of machine (e.g. the arm of the robot) and perform the feature extraction of its image. Experiments conducted using artificial images (virtual environment) and low quality images (internet cameras) indicate that our system can work in a real time and detect successively dangerous situations.*

## **1. WPROWADZENIE**

Osiągnięcie niezakłóconej pracy w przemyśle wymaga zastosowania różnych typów systemów bezpieczeństwa wykrywających obecność pracownika. Konieczne to jest zwłaszcza w przypadku, gdy obszary pracy maszyny i człowieka nie mogą być od siebie całkowicie odseparowane. Klasyczne systemy bezpieczeństwa takie jak maty czułe na nacisk, kurtyny świetlne oraz lasery skanerowe mają pewne wady, w szczególności uniemożliwiają bądź poważnie utrudniają pracę, nawet w obszarze odległym od ruchomych elementów maszyny, co

może przyczyniać się do spadku wydajności pracy. Układy te mogą być wrażliwe na pojawiające się niewielkie objekty, które nie mogą spowodować sytuacji niebezpiecznej. Ponadto w przypadku skanerów laserowych i kurtyn świetlnych skanowana przestrzeń ograniczona jest do jednej płaszczyzny (warto zaznaczyć, że systemy wyposażone w kamery są tego ograniczenia pozbawione).

W ostatnich latach można zaobserwować powszechny trend modyfikacji urządzeń niezwiązanych z zagadnieniami bezpieczeństwa do tego, aby można je było zastosować w systemach bezpieczeństwa [1]. Dobrym przykładem są właśnie powszechnie stosowane w przemyśle kamery, m.in. do kontroli jakości produkcji. Kamery są wykorzystywane również na np. zrobotyzowanym stanowisku przenoszenia, na którym system wizyjny rozpoznaje i na bieżąco analizuje położenie elementów, przekazując niezbędne informacje do układu sterowania trajektorią ruchu i położeniem końcówki robota.

Obecnie kamery znajdują coraz szersze zastosowanie w zagadnieniach dotyczących bezpieczeństwa (wymagania dotyczące wizyjnych systemów bezpieczeństwa przedstawione są w [2]). Okazuje się, że wyposażone w kamery systemy bezpieczeństwa mogą z powodzeniem zastąpić w pewnych zastosowaniach skanery laserowe oraz kurtyny świetlne (tego typu produkty są już komercyjnie dostępne). Ponadto systemy tego typu charakteryzują się większą elastycznością. Zasada ich działania opiera się na detekcji przez kamerę promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez urządzenie w zakresie nie widzialnym dla ludzi. Emitowana wiązka odbija się od odbłaskowej taśmy i powraca do kamery. W ten sposób system bezpieczeństwa może zareagować, jeżeli w obszarze pomiędzy emitorem a elementem odbłaskowym pojawi się jakiś obiekt (np. ręka pracownika).

Wykorzystanie układów wizyjnych w systemach bezpieczeństwa możemy podzielić na dwie różne kategorie [1]:

- a) monitorowanie określonego obszaru w celu wykrycia obecności ludzi
- b) zapobieganie kolizji pracownika z ruchomymi elementami maszyny (np. ramieniem robota) lub pojazdami.

W obu wymienionych przypadkach wizyjny system bezpieczeństwa musi poprawnie odróżniać pracownika od otoczenia w obrębie strefy obserwowanej przez kamery. W ostatnich latach opracowano wiele różnych metod. Jedną z nich jest nałożenie odpowiednich deseni (często stosowaną formą jest czarno-biała szachownica) na elementy występujące na stanowisku pracy, które są w polu obserwacji kamer [3], [4]. Zakłócenie regularności deseni jest sygnałem powstania sytuacji niebezpiecznej, lub też może posłużyć do lokalizacji położenia pracownika [5]. Z rozwiązaniem takim łączą się jednak pewne trudności, gdyż nałożenie deseni jest często trudne do wykonania (zwłaszcza w przypadku, gdy na stanowisku pracy znajdują się przedmioty o skomplikowanym kształcie). System taki jest w dużej mierze odporny na powstawanie cieni oraz zmiany oświetlenia, jednakże jak wynika z przeprowadzonych badań nie działa prawidłowo dla niskiego i bardzo wysokiego natężenia światła [6].

Obraz rejestrowany przez większość kamer jest zapisywany w formacie RGB (*Red, Green, Blue*). Innym często używanym modelem przestrzeni barw jest HSV (*Hue, Saturation, Value*) posiadający również trzy składowe: częstotliwość światła (H), nasycenie koloru (S) oraz wartość (V). Obraz pochodzący z kamery może być rzutowany na dwuwymiarową przestrzeń HS. Pominięcie składowej V umożliwia dalszą analizę obrazów, której wyniki będą niezależne od natężenia oświetlenia (aczkolwiek jej wyniki są silnie zależne od barwy światła). Analiza taka umożliwia poprawne wyszukanie elementów o określonym, wyróżniającym się od otoczenia kolorze [6]. Elementami takimi mogą być np. kamizelki lub kaski noszone przez pracowni-

ków, co umożliwia wykrycie ich obecności w strefie obserwowanej przez kamerę. System taki nie jest w stanie wykryć obecności osób nie posiadających na sobie elementów o określonej barwie. Nawet w przypadku, gdy pracownik ma na sobie odpowiednią kamizelkę, niektóre części ciała (np. ręce) nadal nie będą wykrywane przez system. Podobnym podejściem do problemu jest wykorzystanie kamer rejestrujących obraz w podczerwieni oraz wyszukiwanie elementów, które są dobrze widoczne w tym zakresie widma promieniowania elektromagnetycznego [6]. W przypadku dalekiej podczerwieni (FIR) poważną trudność w analizie obrazu stanowią obecne w otoczeniu źródła ciepła oraz zjawisko remanencji termicznej.

Istnieje też niewielka liczba opracowań systemów bezpieczeństwa, które potrafią w sposób inteligentny analizować otoczenie robota [1]. Odseparowanie pracownika od robota może wpływać negatywnie na elastyczność produkcji. W pewnych przypadkach korzystne może być bowiem, aby mogli ze sobą współpracować. Uważa się, że umożliwienie pracy robota bezpośrednio w obecności człowieka może pozwolić na dalsze zredukowanie kosztów produkcji przemysłowej [1], [7]. W literaturze przedstawiono kilka przykładowych scenariuszy współpracy człowieka i robota [8], [9], m.in. wykorzystanie ramienia robota w celu pomocy człowiekowi w manipulowaniu bądź przenoszeniu różnych obiektów [10], [11], [12]. Innym przykładem jest możliwość uczenia robota przez człowieka, który znajdując się w pobliżu działającego robota wskazuje mu nową sekwencję ruchów za pomocą wskaźnika laserowego [13].

W tego typu przypadkach współpracy człowieka i robota dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie wizyjnego systemu bezpieczeństwa. Na podstawie obrazów z kamery stale obliczana jest odległość pomiędzy pracownikiem i robotem. Wartość ta jest porównywana z wartością minimalną, poniżej której istnieje ryzyko kolizji. W najprostszym przypadku działanie maszyny jest zatrzymywane, gdy pracownik pojawia się w strefie zagrożenia monitorowanej przez kamerę [14]. W przypadku bardziej wyrafinowanych systemów (które biorą pod uwagę nie tylko położenie ale i zachowanie człowieka), możliwe jest bardziej zaawansowane działanie zapobiegające powstaniu sytuacji niebezpiecznych (np. poprzez zmianę ruchu ramienia robota) [7], [8], [9], [15].

Należy zauważyć, że roboty pracują dzisiaj prawie wyłącznie za ogrodzeniem ochronnym, odseparowane od operatora aplikacji. Natomiast dzięki zastosowaniu wizyjnego systemu bezpieczeństwa operator może np. umieścić element bezpośrednio w chwytaku robota. Równocześnie zaś, dzięki wyeliminowaniu konieczności pełnego odseparowania obszaru pracy robota, operator ma swobodny dostęp oraz niezakłócony widok na cały proces produkcyjny.

## 2. UKŁAD NEURONOWY

Automaty komórkowe i sztuczne sieci neuronowe zainspirowały powstanie komórkowych sieci neuronowych (CNN) [16]. Są to układy  $m \times n$  identycznych komórek (neuronów), gdzie  $m$  jest liczbą kolumn, a  $n$  liczbą wierszy. Fundamentalną właściwością CNN jest powtarzający się i taki sam dla każdej komórki (z wyjątkiem brzegowych) schemat połączeń synaptycznych (*cloning template*). Zasięg połączeń synaptycznych dany jest liczbą  $r$ . Stan neuronu  $x_{i,j}(t)$  jest określony przez macierze [A] (wpływ sygnałów wyjściowych - *feedback matrix*), [B] (wpływ sygnałów wejściowych - *control matrix*) i [I] (zewnątrzna polaryzacja) [5]. Rozmiar macierzy [A] i [B] wynosi  $(2r+1) \times (2r+1)$ , a stan wyjściowy neuronu  $y_{i,j}(t) = f[x_{i,j}(t)]$  jest określony przez funkcję aktywacji  $f$ . Rozmiar CNN odpowiada rozmiarowi macierzy

CCD kamery TV, co pozwala na przyporządkowanie neuronu pojedynczemu pikselowi obrazu TV.

Dynamika sieci neuronowej (z czasem dyskretnym) jest opisywana równaniem:

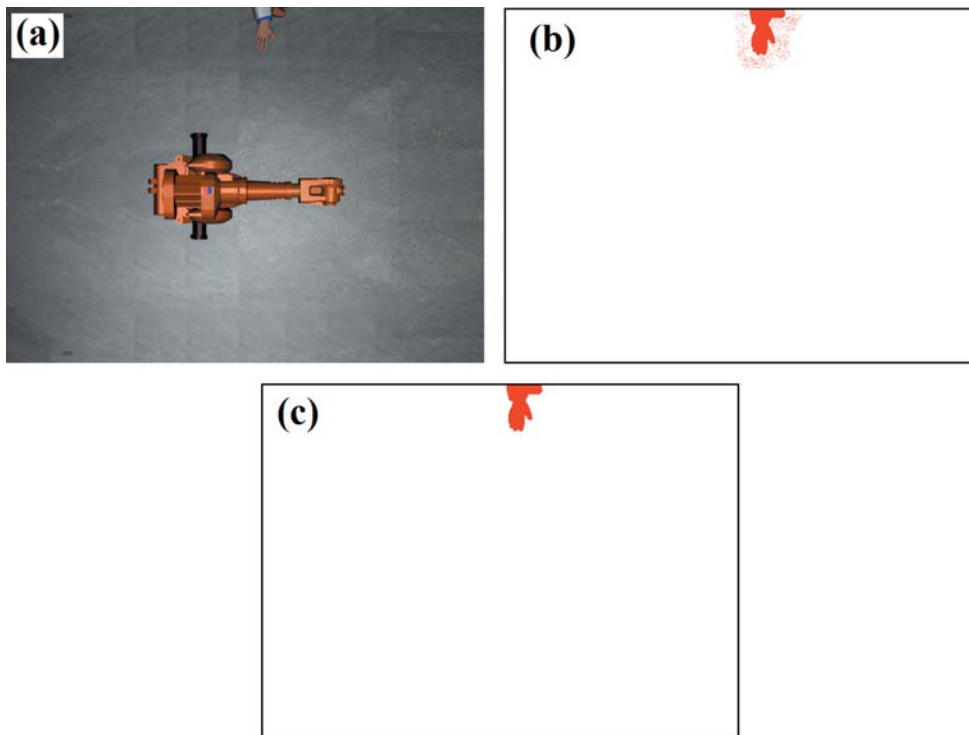
$$h_{ij}(t+1) = \sum_{k=-r}^r \sum_{l=-r}^r a_{ij}^{i+k, j+l} x_{i+k, j+l}(t) + \sum_{k=-r}^r \sum_{l=-r}^r b_{ij}^{i+k, j+l} u_{i+k, j+l}(t)$$

$$y_{ij}(t+1) = f(h_{ij}) \quad (1)$$

### 3. DZIAŁANIE SYSTEMU

Sekwencja uzyskiwanych z kamer obrazów jest przekazywana do karty *frame grabbera* komputerze klasy PC. Następnie, po dokonaniu obróbki wstępnej obrazy przesyłane są do układu neuronowego zrealizowanego programowo w komputerze. Układ neuronowy ma postać połączonego kaskadowo układu komórkowych sieci neuronowych. Układ ten porównuje nadchodzące obrazy i analizuje nowe elementy, które się na nich pojawiły. W początkowej fazie dane z obu kamer analizowane są równoległe przez dwie niezależne sieci komórkowe. Następnie na podstawie porównania wyników analizy przeprowadzonej przez te sieci badane są: wielkość obrazu przedmiotu, które się pojawił w polu obserwowanym przez kamery oraz jego prędkość. Ponadto ustalane jest aktualne położenie ramienia

roboty oraz położenie nowego obiektu względem ramienia. Na podstawie analizy tych informacji układ decyzyjny rozstrzyga, czy powstała sytuacja jest bezpieczna, jest sytuacją zagrożenia, czy jest sytuacją niebezpieczną.



Rys. 1. Aktualny obraz z kamery (a), wynik porównania aktualnego obrazu z obrazem referencyjnym (b), obraz nowego obiektu po usunięciu szumu

W pierwszym etapie działania sieci należy sprawdzić, czy w obszarze obserwowanym przez kamery nie pojawił się nowy obiekt. Przyjęto, że obrazy przekazywane przez kamerę są sygnałami wejściowymi do sieci. Każdemu pikselowi obrazu odpowiada neuron sieci komór-

kowej. Początkowy stan komórki  $ij$  odpowiada jasności odpowiedniego piksela obrazu wzorcowego.

Wartość sygnału wyjściowego  $y_{ij}$  zależy od stanu komórki  $x_{ij}$  i wartości sygnału wejściowego  $u_{ij}$ . Dodatkowo w celu unieważnienia układu na zmianę natężenia oświetlenia dokonywana jest również analiza obrazu w przestrzeni barw HSV - *Hue, Saturation, Value* (w sposób analogiczny jak dla przestrzeni barw RGB). Szczególna uwaga poświęcona jest składowej V (value), odpowiadającej właśnie natężeniu światła. Monitorowanie zmiany tej wartości dla poszczególnych pikseli oraz całego obrazu pozwala m.in. na wykrycie czy zmiany obserwowane w przestrzeni RGB są tylko skutkiem zmiany natężenia światła (czyli właśnie składowej V), które powstać mogły np. na skutek pojawienia się nowego źródła światła.

Przebieg procesu identyfikacji nowego obiektu przedstawiony jest na rys.1. Układ neuronowy analizuje aktualny obraz z kamery (rys.1a) porównując go do obrazu referencyjnego. Wynik tej analizy przedstawiony jest na rys.1b. Obraz ten może być zaszumiony, dlatego też kolejnym etapem działania układu neuronowego jest usunięcie szumów. Efekt tego działania przedstawiony jest na rys.1c.

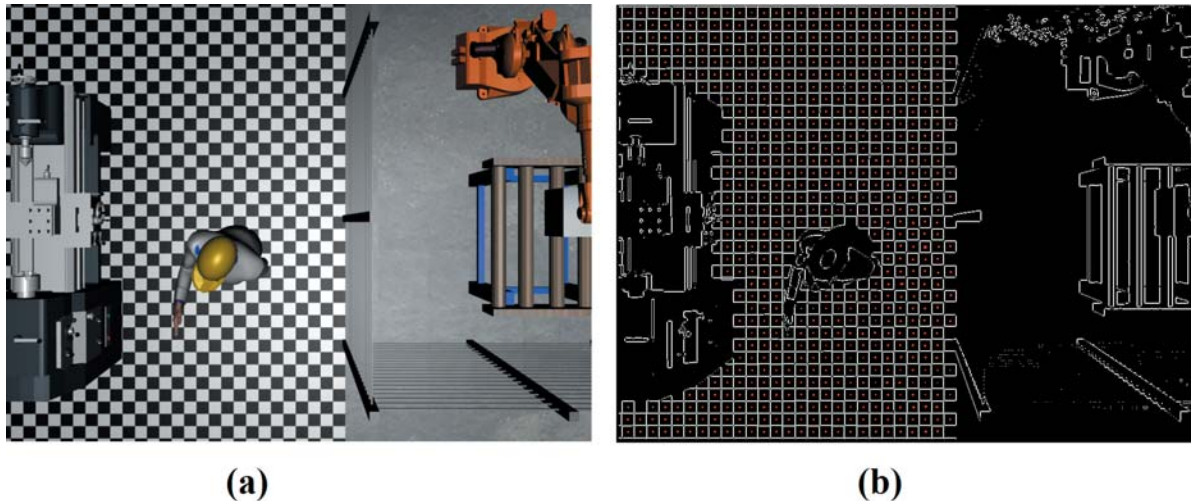
W niektórych warunkach, związanych między innymi z szybko zmieniającym się oświetleniem, korzystne może okazać się wykrywanie nowego obiektu na podstawie obserwacji zaburzeń w naniesionym na powierzchnię podłogi regularnym wzorcu [1], [4], [6]. Przykładem takiego pasywnego wzorca może być kratownica (rys. 2a). W celu przyspieszenia wymaganych obliczeń analizowany obraz jest w pierwszej kolejności zamieniany z obrazu kolorowego na obraz czarno biały. Następnie obraz ten jest analizowany przez sieć komórkową zaprojektowaną w celu wykrywania krawędzi pionowych oraz krawędzi poziomych.

Kolejnym krokiem jest zastosowanie odpowiedniego szablonu umożliwiającego wykrywanie elementów pasywnego wzorca (w przypadku szachownicy są to pojedyncze kwadraty). W tym celu wykorzystywany jest odpowiedni szablon, którego wielkość (określona przez zmienną  $r$ ) dostosowana jest do rozmiaru pojedynczego kwadratu. Efekt działania sieci opartej na tym szablonie przedstawiony jest na rys. 2b, gdzie czerwonymi punktami zaznaczone te elementy wzorca, które według sieci neuronowej nie zostały zniekształcone. Zdecydowana większość obliczeń wykonywana jest tylko przy pierwszym uruchomieniu układu, wówczas układ neuronowy wyszukuje optymalny rozmiar szablonu oraz położenie pojedynczych kwadratów. W trakcie właściwego działania nie jest sprawdzany stan wszystkich neuronów, ale tylko tych, które znajdowały się w geometrycznym środku wykrytych w początkowej fazie kwadratów. Wielokrotnie zmniejsza to ilość wymaganych obliczeń i pozwala na znaczące skrócenie czasu potrzebnego sieci neuronowej na dokonanie analizy obrazu.

Warto podkreślić, że prezentowana sieć neuronowa jest w stanie wykryć pojedyncze kwadraty, zarówno czarne jak i białe (w [2] zakłada się, że minimalny rozmiar obiektu, który powinien zostać wykryty jest trzykrotnie większy od rozmiaru pojedynczego elementu wzorca). Wpływa to pozytywnie na dokładność wykrywania położenia nowego obiektu znajdującego się w strefie obserwowanej przez kamery.

W celu identyfikacji położenia i orientacji w przestrzeni ruchomych elementów maszyn, takich jak ramię robota, zastosowano znacznik składający się z dwóch pasków o barwach nasyconych (czystych) w standardzie RGB, umieszczonych na osi obrotu ramienia robota (rys.1a). Takie umieszczenie znacznika bardzo znacznie zmniejsza deformacje jego kształtu związane z ruchem ramienia robota. Położenie znacznika jest znajdowane na podstawie porównywania histogramów barw obiektów widzianych przez główną kamerę TV.

Należy podkreślić, że również inne nasycone barwy mogą zostać zastosowane, np. znacznik składający się z pasków o barwach zielonej i żółtej. Umożliwia to systemowi identyfikację wielu różnych obiektów znajdujących się w strefie obserwowanej przez kamery. Ponadto dzięki zastosowaniu odpowiedniego szablonu sieci neuronowej (który pozwala na rozróżnianie wielu obiektów, które pojawiają się w strefie obserwowanej przez kamery), możliwa jest również poprawna identyfikacja wielu znaczników o takich samych barwach. Znaczniki te mogą być umieszczone nie tylko na ruchomym ramieniu robota, ale również na innych ruchomych obiektach mogących stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia pracownika.



Rys. 2. Przykładowa scena z naniesionym pasywnym wzorcem w formie szachownicy (a). Wynik działania sieci komórkowej wyszukującej elementy pasywnego wzorca obecnego w analizowanym obrazie (b). Czerwonymi punktami zaznaczono te elementy (kwadraty), które zostały wykryte.

#### 4. EKSPERYMENTY

Eksperymenty były przeprowadzone z wykorzystaniem układu wizyjnego składającego się z dwóch kamer internetowych (Labtec webcam 3300). Kamery te rejestrowały obraz z prędkością 15 ramek na sekundę w rozdzielczości 320 na 200 punktów - są to wartości typowe dla tej klasy urządzeń. Algorytmy zostały zaimplementowane z wykorzystaniem języka C.

Wpływ oświetlenia na prawdopodobieństwo wykrycia obiektu oraz średnią odległość na jaką wnika obiekt w strefę obserwowaną przez kamery zanim zostanie wykryty przez system, jest przedstawiony w tab.1. Kamery były umieszczone na wysokości 2 m nad podłożem. Średnia prędkość obiektu (którym był sześcián o długości boku równym 5 cm - wykorzystano sześciány o różnych barwach) wynosiła 1,2 m/s. Jak wynika z eksperymentów system działa prawidłowo dla szerokiego zakresu oświetlenia (od 100 lx do 600 lx - średnie oświetlenie zautomatyzowanego stanowiska pracy jest rzędu 300 lx), pomimo zastosowania systemu akwizycji o niskich parametrach jakościowych rejestrowanych obrazów (proste kamery internetowe). Z powyższego wynika, że opracowany system nie wymaga specjalnych warunków dotyczących oświetlenia miejsca pracy. Również ekstrakcja pozostałych cech obiektu (rozmiar i prędkość) przebiegała prawidłowo w tym zakresie oświetlenia.

W następnym etapie eksperymentów wykorzystano obrazy syntetyczne wygenerowane z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej. W wirtualnym środowisku umieszczono dwie kamery, z których obraz był przesyłany bezpośrednio do układu komórkowych sieci

neuronowych CNN. Podstawową zaletą wykorzystania technik rzeczywistości wirtualnej jest to, że zarówno dokładne położenia jak i prędkości wszystkich obiektów są znane (zbędny jest wówczas dodatkowy system do detekcji położenia obiektów w przestrzeni trójwymiarowej), co pozwala na szybką ocenę odpowiedzi układu neuronowego. Jak wynika z przeprowadzonych eksperymentów różnica  $\Delta r$  pomiędzy rzeczywistym położeniem środka geometrycznego obiektu a lokalizacją wyznaczoną przez CNN, jest niewielka i nie zależy od położenia obiektu w przestrzeni. Jest bardzo ważna zaleta w porównaniu do systemów wizyjnych wyposażonych w jedną kamerę, dla których  $\Delta r$  rośnie bardzo szybko wraz ze wzrostem odległości obiektu od środka obrazu. Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że średnia wartość  $\Delta r$  maleje nieznacznie wraz z zmniejszaniem wielkości obserwowanego obiektu, np.  $\Delta r = 2,7$  cm dla sześcianu o boku  $a = 40$  cm;  $\Delta r = 2,1$  cm dla  $a = 20$  cm; oraz  $\Delta r = 1,5$  cm dla  $a = 10$  cm (kamery znajdowały się w odległości 5 m nad podłożem). Otrzymano podobne wyniki niezależnie od tego jaka tekstura podłoża była zastosowana (przetestowano system dla 100 różnych tekstur), nawet w przypadku, gdy tekstura podłoża i obiektu były takie same.

Tab. 1. Wpływ natężenia oświetlenia na efektywność działania systemu. Wyniki są uśrednieniem po 100 niezależnych powtórzeniach.

Natężenie oświetlenia [lx]	100	350	600
Prawdopodobieństwo wykrycia obiektu [%]	100	100	100
Średnia odległość, jaką pokonał obiekt przed wykryciem go przez system wizyjny [cm]	15	15	13

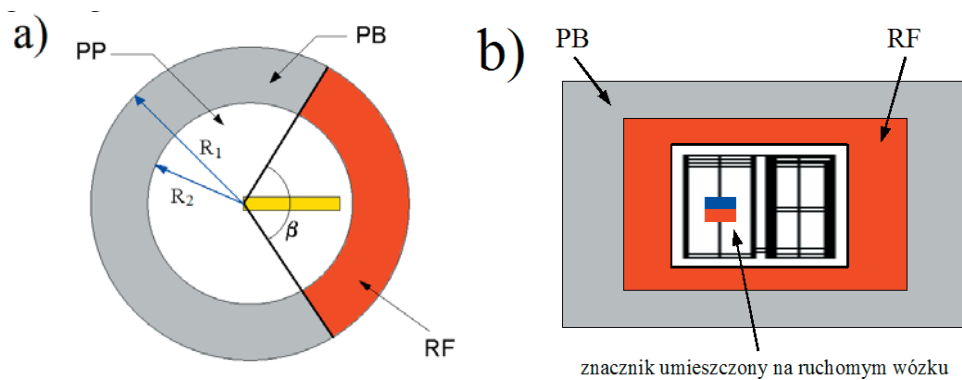
## 5. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA

Lokalizacja bieżącego położenia ruchomych elementów, takich jak ramię robota, pozwala na ograniczenie zatrzymań robota, gdyż sytuacje, w których obiekt naruszający pole bezpieczeństwa (PB) jest odległy od ramienia nie grożą bezpośrednią kolizją i wystarczające jest tylko spowolnienie robota. Na rys. 3. widzimy pole bezpieczeństwa PB i sektor niebezpieczny RF, który jest wycinkiem pola PB opartym na kącie środkowym  $\beta$ . Naruszenie pola PB powoduje tylko zwolnienie robota, natomiast przy naruszeniu pola RF jest wysyłany sygnał zatrzymujący robota. Forma pola strefy RF może być dowolnie zdefiniowana w zależności od tego, jaki obiekt powinna otaczać (np. na rys. 3 przedstawiona jest postać pola PB i RF w przypadku ruchomego wózka transportującego produkowane elementy).

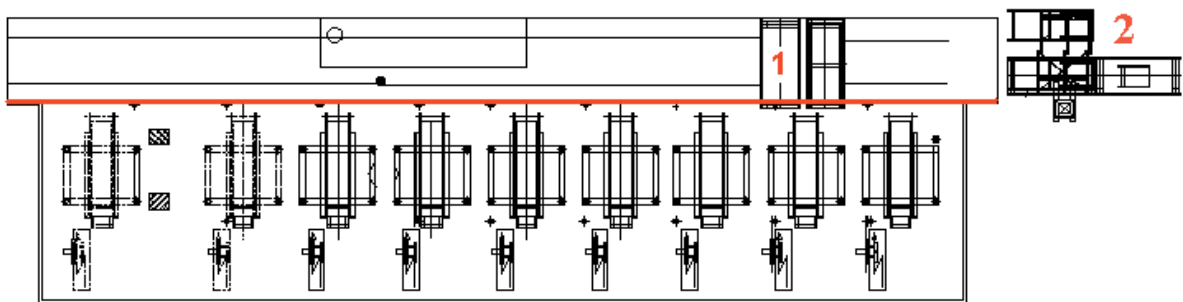
W przemyśle roboty najczęściej są zamknięte w celach i całkowicie odseparowane od ludzi. Jednakże pomimo tego, że w literaturze przedstawiono wiele potencjalnych scenariuszy współpracy człowieka z robotem, pokazując, że może ona przynieść redukcję kosztów produkcji, rozwiązania takie istnieją nadal tylko w stadium laboratoryjnym. Tym niemniej istnieją również pewne sytuacje, kiedy działający robot nie jest w pełni odseparowany od ludzi, co zdarza się np. na targach i wystawach (gdzie w pobliżu robota mogą znaleźć się ludzie nie świadomi ryzyka). Zgodnie z przepisami w takich warunkach roboty mogą być pozbawione urządzeń ochronnych, np. mogą być pozbawione osłon. W takich przypadkach korzystne jest zastosowanie wizyjnego systemu bezpieczeństwa.

Interesującym przykładem potencjalnego zastosowania omawianego systemu jest również linia montażowa znajdująca się w jednej z polskich fabryk, której schemat przedstawiony jest na rys. 4. Linia składa się z 9 gniazd montażowych oraz poruszającego się z prędkością kilku metrów na sekundę wózka (jest on oznaczony na ilustracji numerem 1). Jeżeli którekolwiek

z gniazd skończy wykonywanie elementu zostaje o tym automatycznie powiadomiony ruchomy wózek, który odbiera przygotowany element i przewozi go do dalszej obróbki zostawiając go w punkcie oznaczonym numerem 2. Po każdej operacji wykonania elementu gniazdo musi zostać przygotowane przez obsługującego je pracownika do produkcji kolejnego elementu (cały cykl produkcyjny trwa kilka minut). W tym celu pracownik czasami musi wejść w obszar, w którym porusza się wózek (1). Wówczas ruch wózka zostaje zatrzymany, gdyż pracownik narusza strefę wykrywania kurtyny świetlnej (oznaczoną czerwoną linią). Ze względu na duże rozmiary linii (jej długość wynosi około 30 m) może to powodować niepotrzebne przestoje w produkcji. Praca wózka jest zatrzymywana, gdy wózek znajduje się daleko od pracownika (lub np. zmierza do gniazda, które znajduje się pomiędzy wózkiem a pracownikiem) oraz nawet, gdy nie istnieje ryzyko kolizji gdyż wózek, co prawda porusza się, ale oddala się od pracownika. Zastosowanie wizyjnego systemu bezpieczeństwa, który w sposób inteligentny będzie analizował zachowanie się pracowników oraz prędkość i położenie wózka względem pracowników może przyczynić się w tym przypadku do zwiększenia wydajności produkcji, poprzez redukcję liczby zakłóceń ciągłości realizacji procesu technologicznego.



Rys. 3. Zmodyfikowane pole bezpieczeństwa PB. Pojawienie się obiektu w obszarze RF, który jest wycinkiem pola PB o kącie środkowym  $\beta$ , powoduje wyłączenie robota (a). Ramię robota zaznaczono na żółto. Kształt pól PB i RF dla przypadku linii montażowej z rys.4 (b).



Rys. 4. Schemat linii montażowej o długości około 30 m. Czerwoną linią oznaczono lokalizację fotobariery. Numerem 1 oznaczono położenie ruchomego wózka. Cała linia obsługiwana jest przez dwóch pracowników.



## 6. PODSUMOWANIE

System bezpieczeństwa przedstawiony w tej pracy może być używany do efektywnego określania położenia pracownika względem stref niebezpiecznych. Identyfikacja położenia ruchomych elementów maszyny (takich jak np. ramię robota) pozwala na definiowanie ruchomych stref, które są szczególnie niebezpieczne (RF). Prezentowany system może być łatwo dostosowany do różnych procesów technologicznych. Użytkownik może określać parametry pracy systemu, takie jak obszar pola bezpieczeństwa (PB). Następnie może również określić minimalny rozmiar  $D_0$  i zakres prędkości  $[v_{\min}, v_{\max}]$  obiektów pojawiających się w strefach PB i RF, 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 20 ms. Prezentowany system jest inteligentnym narzędziem do zapobiegania wypadkom, a także zapobiegania przypadkowym zakłóceniom ciągłości procesu technologicznego, na zautomatyzowanych stanowiskach pracy m.in. 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.

**Acknowledgements:** The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education, National Program "Improvement of Safety and Working Conditions" project No. 4.R.03, CIOP-PIB (2008-2010). A.G. acknowledges financial support from the Foundation for Polish Science (FNP 2008).

## 7. LITERATURA

- [1] T. Bomer, „Vision based protective devices (VBPD) – a vision becomes reality”, proceedings of 3<sup>rd</sup> Int. Conf. SIAS 2003, session 7, p. 7-11, Nancy France.
- [2] IEC 61496-4. Safety of machinery. Electro-sensitive protective equipment. Part 4. Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD).
- [3] Report of the Project „Development for the international standards in the field of safety of machinery – a vision based protective devices (VBPD)”, The Japanese National Committee for IEC/TC44 Prepared by the Japan Machinery Federation (2001).
- [4] Japanese Machinery Federation, Report of the Project „Development for the International Standards in the field of Safety of Machinery – a vision-based protective devices (VBPD)”, IEC 44/343/INF, 2001-10.
- [5] F. Gardeux, J. Marsot, J. P. Buchweiller, „Detection of persons in danger zones: Contributions and difficulties of artificial vision” 3<sup>rd</sup> Int. Conf. SIAS (2003).
- [6] F. Gardeux, “Detection of persons based on digital vision: advantages and limits”, INRS, HST, ND 2276-208-07 (2007).
- [7] M. Hägele, W. Schaaf, E. Helms, „Robot Assistants at Manual Workplaces: Effective Co-operation and Safety Aspects”, Proceedings of the 33rd ISR (International Symposium on Robotics) October 7 – 11, 2002.
- [8] Kruger J., Nickolay B., Schulz O., „Image-based 3D-surveillance in man-robot-cooperation”, 2nd IEEE International Conference on Industrial Informatics, Berlin, 411-420, June 2004.
- [9] B. Koch, „Human and robots – a great tem”, Fraunhofer magazine 2.2002, 40-41.

- [10] J. E. Colgate, W. Wannasuphoprasit, M. A. Peshkin: „Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators”. In: Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Atlanta, GA, DSC-Vol. 58, 433-39.
- [11] O. Khatib: „Mobile Manipulation: The Robotic Assistant.” In: Journal of Robotics and Autonomous Systems, vol. 26, 1999, 175-183.
- [12] R. D. Schraft, S. Thiemermann: „Direct manrobot cooperation in a flexible assembly cell”, In: Proceedings of the 33rd International Symposium on Robotics, ISR 2002, October, 7 – 11, 2002.
- [13] Stopp, A. Baldauf, T. Hantsche, R. Horstmann, S. Kristensen, S. Lohnert, F. Priem, C. Ruescher, B. The Manufacturing Assistant: Safe, Interactive Teaching of Operation Sequences. In Proc. of the 11th IEEE Int. Workshop on Robot and Human interactive Communication, ROMAN2002, Berlin, Germany, September 25-27, 2002, 386-391.
- [14] K.HAMAJIMA, J.LU and K.ISHIHARA, „Object Zone Detection Method with Omnidirectional Vision Sensors”, Specific Research Reports of the National Institute of Industrial Safety, NIIS-SRR-NO.33 (2005)
- [15] J.LU, K.HAMAJIMA and W.JIANG, „Monitoring a Wide Manufacture Field Automatically by Multiple Sensors”, ACTA AUTOMATICA SINICA, Vol. 32, No. 6, 956-967, November, 2006
- [16] R.A. Kosiński „Sztuczne sieci neuronowe - dynamika nieliniowa i chaos”, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, (2007)