

dr inż. Barbara Siemiątkowska  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

mgr inż. Rafał Chojecki  
dr inż. Mariusz Olszewski  
Instytut Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej

## NAWIGACJA ROBOTA MOBILNEGO Z WYKORZYSTANIEM DOOKÓLNEGO SYSTEMU WIZYJNEGO

*W artykule przedstawione zostanie zastosowanie dookólnego systemu wizyjnego w nawigacji robota mobilnego. Przedstawiona zostanie metoda określania orientacji robota w otoczeniu w którym się porusza oraz metoda unikania kolizji. Mapa otoczenia jest budowana na podstawie obrazów pochodzących z systemu wizyjnego omnicaam.*

### MOBILE ROBOT NAVIGATION BASED ON OMNICAAM VISION SYSTEM

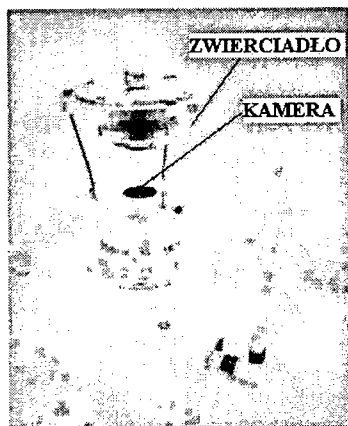
*In this paper a method of obstacles avoidance and mobile robot localization is presented. In the method the omnicaam system is used in order to detect obstacles and to recognized natural landmarks of robot's environment.*

## 1. WSTĘP

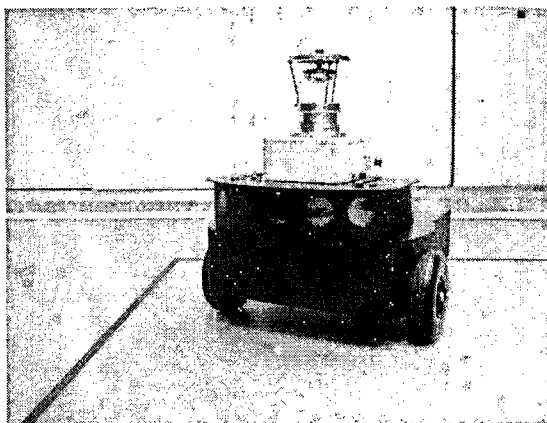
W systemach nawigacyjnych robotów mobilnych podstawowym zagadnieniem jest wybór odpowiednich sensorów i odpowiedniej reprezentacji otoczenia. Ze względu na wzrost możliwości współczesnych komputerów coraz częściej stosowane są systemy wizyjne, które dostarczają wiele informacji o otoczeniu – kolorze i kształcie przeszkód, a w przypadku układów kilku kamer umożliwiają określenie odległości do otaczających robota. Podstawową wadą klasycznych metod wizyjnych jest to, że obraz otoczenia w którym porusza się robot w istotny sposób zależy od orientacji robota. Z tego też względu trudne jest także znalezienie takich naturalnych znaczników, które będą mogły być obserwowane przez robota dłuższy czas, a więc umożliwią lokalizację.

W prowadzonych przez nas badaniach zastosowaliśmy system wizji dookólnej (rys. 1). Układ składa się z kamery (CCD) oraz znajdującego się nad nią zwierciadła sferycznego. Kamera umieszczona zostało w duralowej (metalowej obudowie). Zwierciadło o średnicy 50mm zamocowane zostało do specjalnego talerza stojącego na trzech podporach. Zwierciadło wykonano z mosiądzu. Powierzchnia sferyczna została wypolerowana, a następnie pokryta chromem. Konstrukcja układu pozwala na wymianę zwierciadeł, dzięki czemu możliwe są badania z różnymi kształtami zwierciadeł. W podstawie umieszczono nadajnik radiowy do bezprzewodowego przekazywania

obrazu z kamery do komputera sterującego i akumulatory. W obudowie znajdują się również gniazda do łączenia z zewnętrznym źródłem zasilania i wyjście video. Modułowość układu pozwala na montowanie go na wielu robotach.



Rys. 1 System Omnicam

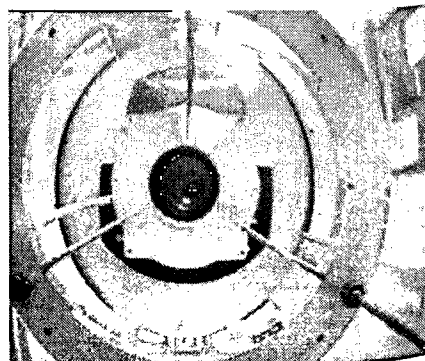
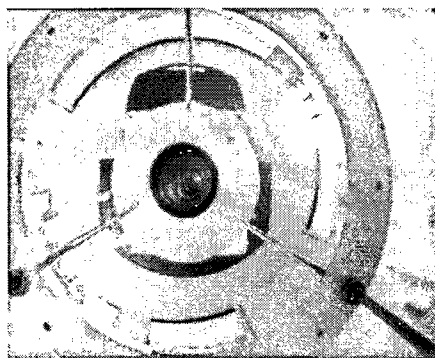


Rys. 2 Pioneer 1 z systemem omnicam

Cały system został umieszczony na robocie Pioneer 1. Urządzenie to oprócz systemu wizyjnego jest także wyposażone układ sonarów, które umożliwiają bezpośredni pomiar odległości do otaczających przeszkód.

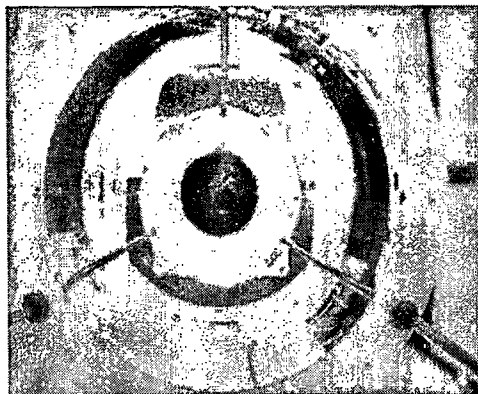
## 2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU WIZJI DOOKÓLNEJ

Kąt widzenia systemu *omnicam* wynosi  $360^\circ$ . W wyniku zmiany orientacji robota zmienia się orientacja obrazu, nie znikają jednak żadne obiekty. Rysunek 4 przedstawia widok korytarza przy różnych orientacjach i położeniach robota. Mimo, że robot zmienił orientację o ponad 40 stopni i przemieścił się kilka metrów nadal możemy dopasować odpowiadające sobie obiekty.



Rys 3. Obraz korytarza przy różnych położeniach robota

Obraz zawiera naturalne zniekształcenia wynikające z kształtu zwierciadła. Rysunek 3 przedstawia obraz prostokąta narysowanego wokół robota, prostokąt ten jest wyraźnie zniekształcony. W przypadku obrazów pochodzących z systemu *omnicam* dokładność określenia odległości maleje wraz ze wzrostem odległości od zwierciadła, jest to jednak cecha charakterystyczna dla układów sensorycznych organizmów żywych. W większości systemów nawigacyjnych wymagana jest dokładna informacja o położeniu przeszkód znajdujących blisko robota, o przeszkodach położonych dalej wystarczy informacja przybliżona.



Rys. 4 Obraz prostokąta

Obraz z kamery dookólnej przedstawia otoczenie w postaci biegunowej, ale odległość między środkiem obrazu z kamery, a obrazem obiektu nie jest funkcją liniową odległości między tym obiektem, a kamerą. Możemy jednak przyjąć założenie, że im dalej obiekt znajduje się od kamery tym jego obraz znajduje się dalej od środka obrazu. Istnieją wzory analityczne umożliwiające określenie odległości obiektu od kamery na podstawie współrzędnych pikseli obrazu [2], ale my zdecydowaliśmy się na doświadczalne określanie odległości. Dla tablicy przechowującej obraz przed uruchomieniem programu stworzona została tablica w której dla każdego piksela obrazu zapamiętywana jest odpowiadająca mu odległość od środka robota.

Przeszkody obserwowane są na poziomie podłogi. Oprócz tablicy odległości należy przeprowadzić badania określające niepewność wskazań. Dzięki temu zabiegowi system działa poprawnie nawet wtedy, gdy w układzie wizyjnym *omnicam* występują pewne zniekształcenia związane z niedokładnościami wykonania systemu [3]. Znając współrzędne piksela  $[i, j]$  i odpowiadającą mu odległość  $d_{ij}$  możemy określić współrzędne wykrytej przeszkody według wzoru:

$$x = X_0 + d_{ij} \cos \alpha \quad (1)$$

$$y = Y_0 + d_{ij} \sin \alpha \quad (2)$$

gdzie  $X_0, Y_0$  jest środkiem układu współrzędnych, a  $\alpha$  kątem „widzenia” przeszkody.

### 3. UNIKANIE KOLIZJI

Metoda unikania kolizji jest oparta na algorytmie histogramów kierunkowych, która została zaproponowana przez [1]. W podejściu tym otoczenie robota dzielone jest na sektory, dla każdego z nich obliczana miara występowania przeszkód, następnie budowany jest histogram, wartości histogramu są progowane. Dany kierunek przemieszczanie się robota jest dopuszczalny jeśli miara występowania przeszkód jest mniejsza niż zadany próg.

W proponowanej metodzie przyjęto także założenie, że podłoże po którym porusza się robot ma jednolitą teksturę.

Algorytm określania dopuszczalnych kierunków jest następujący:

1. Z obrazu z kamery wycinany jest obraz robota i zamocowania kamery.
2. Z otrzymanego obrazu „wyciągane” są krawędzie.
3. Przyjmujemy założenie, że obraz krawędzi znajdującej się najbliżej robota jest fragmentem przeszkody obserwowanej na poziomie podłogi. Obraz wykrytych przeszkód przedstawia rys. 4b
4. W następnym kroku, analogicznie jak w klasycznej metodzie, dla każdego piksela obliczana jest wiarygodność występowania przeszkody zgodnie ze wzorem:

$$m_{ij} = a - bd_{ij} \quad (3)$$

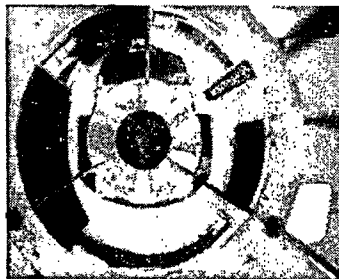
gdzie:

$a, b$  – parametry zależne od wymiarów robota

$d_{ij}$  – odległość między środkiem robota, a przeszkodą.

5. Dla każdego sektora obliczana jest miara występowania przeszkód zgodnie ze wzorem:

$$h_k = \sum m_{ij} \quad (4)$$



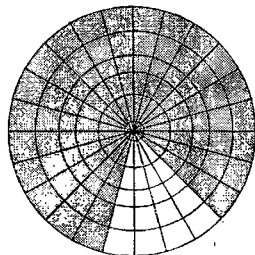
a)



b)

Rys 4. Obraz wykrytych przeszkód

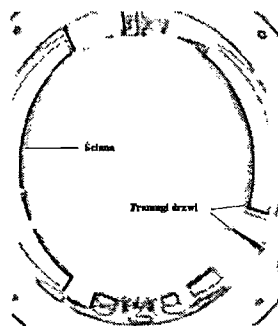
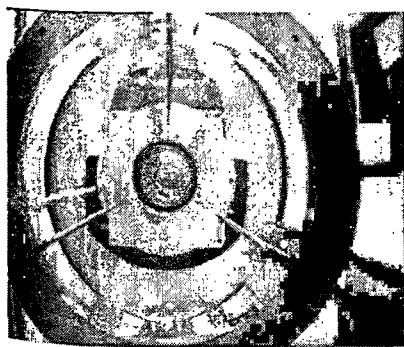
6. Dopuszczalnym kierunkiem przemieszczania jest ten dla którego wartość miary występowania przeszkód nie przekracza zadanego progu. Dopuszczalne kierunki dla otoczenia przedstawionego na rysunku 4 przedstawia rys. 5. Sektory w których miara występowania przeszkód jest większa niż zadany próg zaznaczono na szaro, sektory wolne od przeszkód kolorem białym.



Rys. 5 Dopuszczalne kierunki przemieszczenia robota

#### 4. OKREŚLENIE POŁOŻENIA OBIEKTÓW CHARAKTERYSTYCZNYCH

Rodzaj obiektów charakterystycznych jest ściśle związana z rodzajem sensora w przypadku czujników odległości takimi obiektami są fragmenty ścian, w klasycznych systemach wizyjnych elementy otoczenia o charakterystycznym kolorze lub kształcie. Stosując dookólne systemy wizyjne i kamerę monochromatyczną możemy zaobserwować dwa rodzaje obiektów charakterystycznych – ściany widziane jako długie zakrzywione linie i drzwi. Cechą charakterystyczną drzwi jest to, że fragmenty pionowe – framugi na obrazie z kamery tworzą odcinki ułożone „promieniście”. Rys 6. przedstawia obraz korytarza i obraz przetworzony.



Rys 6. Obraz korytarza i wykrytych obiektów charakterystycznych – drzwi

Piksele możemy podzielić na klasy pikseli należących do fragmentów ścian – wykorzystując klasyczne metody wykrywania linii [5] oraz na grupę pikseli reprezentujących elementy pionowe – framugi drzwi. Położenie i orientację robota względem ścian możemy określić stosując metody analogiczne jak w przypadku

stosowania dalmierzy [4]. Na podstawie obrazu z kamery możemy określić kąt pod jakim widziane są elementy pionowe.

Badając zmiany orientacji ścian względem robota możemy określić zmianę orientacji urządzenia w różnych punktach pomiarowych.

Wykrywanie elementów charakterystycznych umożliwi opis topologiczny przestrzeni w której porusza się robot.

## 5. WNIOSKI

W pracy przedstawiono metodę zastosowania systemów wizji dookólnej w nawigacji robotów mobilnych. Proponowany system jest w fazie badań wstępnych i będzie rozwijany i testowany. Dotychczasowe wyniki prowadzonych badań wskazują, że przy pewnych założeniach dotyczących struktury podłoża po którym porusza się robot, systemy wizji dookólnej mogą być z powodzeniem wykorzystywane w lokalizacji robota i odruchowym omijaniu przeszkód.

## LITERATURA

- [1] Borenstein, J. Koren: The Vector Field Histogram- Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots; IEEE Journal of Robotics and Automation, No. 7, pp. 278-288, 1991.
- [2] J. Gaspar, E. Grossmann, and J. Santos-Victor, Interactive reconstruction from an omnidirectional image, SIRS'01, 2001
- [3] Borkowski A., Hallmann I.: Korekcja zniekształceń nieliniowych obrazu; AUTOMATION 2002, Warszawa, 2002.
- [4] B. Siemiątkowska: Zastosowanie transformaty Hough'a w lokalizacji robota mobilnego; AUTOMATION 2002, Warszawa, 2002.
- [5] Duda O., Hart P.: Use of Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Picture; Communication of the ACM, 15(1), 1972