

dr inż. Barbara Siemiątkowska
Instytut Podstawowych Problemów
Techniki PAN

mgr inż. Rafał Chojecki
Instytut Automatyki i Robotyki
Politechniki Warszawskiej

LOKALIZACJA ROBOTA MOBILNEGO NA PODSTAWIE OBRAZÓW POCHODZĄCYCH Z DOKÓŁNEGO SYSTEMU WIZYJNEGO

W artykule przedstawione zostanie zastosowanie dookólnego systemu wizyjnego w nawigacji robota mobilnego. Zaprezentowana będzie metoda określania zmian położenia robota w statycznym otoczeniu typu wnętrze. W czasie działania systemu nie tworzona jest mapa otoczenia, ale wykrywane są charakterystyczne elementy środowiska, w którym porusza się robot – fragmenty ścian, pionowe krawędzie i elementy o unikalnym kolorze znajdujące się na ścianach lub na podłodze. Przedstawiona zostanie też metoda kalibracji kamery dookólnej i wyniki przeprowadzonych testów

MOBILE ROBOT LOCALIZATION BASED ON OMNICAMERA

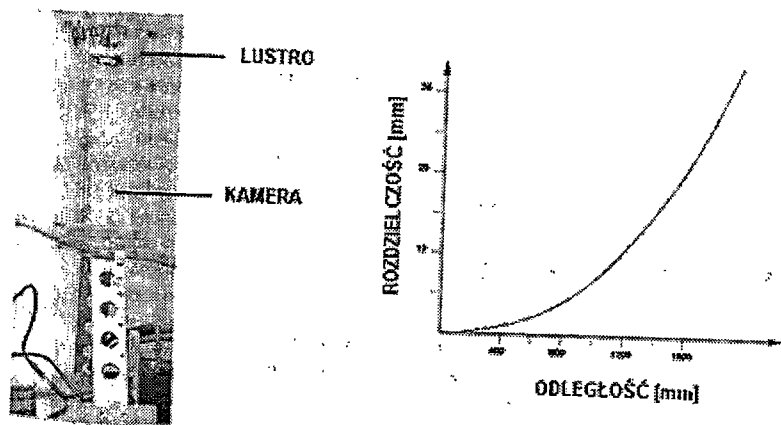
Abstract: In this paper a method of mobile robot localization in an unknown indoor environment is presented. The robot is equipped with a single omni-directional camera. The images are transform into polar representation. Based on the images and their polar representations a natural landmarks of the environment are extracted. We recognize following feature of the environment - the vertical and horizontal lines and unique color area. By using images taken from the omni-camera both ground plane landmarks and wall plane landmarks are extracted. Due to 360 degrees of the robot's environment the robot's pose can be estimated easily and this information is used for path following. The method was tested with the use of the mobile robot Navigator 1 in the real office environment.

1. WSTĘP

Lokalizacja jest jednym z podstawowych problemów robotyki mobilnej. Bez określenia położenia robota w otoczeniu w którym się przemieszcza nie mogą być zrealizowane zadania planowania i śledzenia trasy, ani zadanie budowy mapy. Większość robotów mobilnych jest wyposażonych w systemy odometryczne, których wskazania są dokładne, gdy robot pokonuje niewielkie fragmenty trasy, ale błąd narasta w czasie. Jeśli robot pracuje przez długi czas, to należy go wyposażyć w dodatkowe elementy umożliwiające lokalizację. Metoda określania położenia może się dokonywać poprzez porównywanie globalnej mapy otoczenia robota z odczytami uzyskanymi z sensorów

[6]. Innym rodzajem lokalizacji jest obserwowanie przemieszczenia się robota względem charakterystycznych elementów otoczenia[1][3]. Znaczniki te mogą być sztuczne (wymaga to wcześniejszego przygotowania otoczenia), lub naturalne. W proponowanym przez nas systemie założono, że robot porusza się w statycznym otoczeniu typu wnętrze. W tego typu pomieszczeniach naturalnymi znacznikami są ściany, krawędzie pionowe i elementy o unikalnym kolorze np. obrazy, kontakty itp. W robotyce mobilnej coraz częściej stosuje się systemy wizyjne, które są bogatym źródłem informacji o otaczających robota przeszkodach, ale obraz z klasycznych kamer jest ściśle związany z orientacją robota, trudno jest więc znaleźć elementy otoczenia, które mogą być obserwowane przez robota przez dłuższy czas. W naszych badaniach postanowiliśmy zastosować system wizji dookólnej. Podstawową zaletą tego układu wizyjnego jest to, że informacja zawarta w obrazie w niewielkim stopniu zależy od orientacji robota.

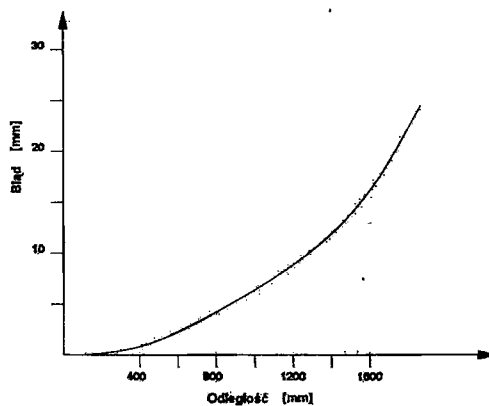
W naszych badaniach kamera dookólna została umieszczona na robocie mobilnym NAVIGATOR 1, który charakteryzuje się małymi rozmiarami i modułową budową. W konstrukcji robota można wyróżnić moduł napędowy - platformę jezdną, moduł głowicy skanującej oraz moduł układu wizji dookólnej przedstawiony na rysunku 1. Taka budowa zapewnia łatwy dostęp do wszystkich zespołów urządzenia, pozwala na wymianę poszczególnych modułów nie wpływając na inne elementy urządzenia. Budowa podwozia pozwala na pokonywanie przeszkód poprzecznych do wysokości 25 mm oraz podjazdów o nachyleniu do 30°. W celu poprawienia właściwości manewrowych robota na płaskich powierzchniach, jego środkowe koła mają możliwość opuszczania się o 0-2 mm. Dodatkowo w dolnej części kadłuba pomiędzy silnikami umieszczono mikroprocesorowy sterownik kontrolujący pracę robota oraz, niektóre układy sensoryczne. Ochroni je to przed ewentualnymi uszkodzeniami mechanicznymi. Głowica skanująca składa się z analogowego dalmierza i kolorowej kamery CCD, umieszczonych na sterowanym, obrotowym statywie, mogącym obracać się w zakresie kąta 180°. Dalmierz składa się z dwóch analogowych sensorów ultradźwiękowych..



Rys 1: System wizji dookólnej i rozdzielczość kamery

KALIBRACJA KAMERY

Przed przystąpieniem do wykrywania znaczników otoczenia na postawie wskazań kamery dookólnej należy przeprowadzić kalibrację czujnika i zbadać jego rozdzielczość. W klasycznych systemach stosuje się przekształcenia dwuliniowe w celu przeprowadzenia kalibracji, ale zniekształcenia obrazów pochodzących z kamer dookólnych są silnie nieliniowe, więc zastosowaliśmy inną metodę kalibracji. Każdemu pikselowi obrazu przyporządkowuje się parę wartości (R_i , φ_i). Wartość R_i określa odległość między obszarem, którego dany piksel jest obrazem, a położeniem robota, a φ_i jest kątem, pod którym obserwowany jest piksel. Na podłodze narysowano okręgi o promieniach: 40cm, 50cm, 60cm, 80cm, 100cm, 120cm, 140cm, 160cm. Dla każdego piksela należącego do narysowanych okręgów odległość R_i i kąt φ_i jest określony. Na podstawie znanych wartości odległości budowane są funkcje sklepane. Na każdym z przedziałów funkcja ta jest wielomianem trzeciego stopnia. Odległość odpowiadająca danemu pikselowi jest wartością funkcji sklepanej. Określony błąd kalibracji przedstawia rysunek 2. Dla odległości poniżej metra błąd wynosi kilka milimetrów, dla odległości powyżej. 2m - kilkanaście centymetrów.



Rys 2 Błąd kalibracji:

2. WYKRYWANIE ŚCIAN

Elementem charakterystycznym, który może być wykryty w otoczeniu typu wnętrze są fragmenty ścian. Powszechnie stosowaną metodą wykrywania odcinków na obrazach pochodzących z kamery jest transformata Hough'a[5]. W przypadku stosowania systemu wizji dookólnej obrazem poziomej linii prostej jest fragment łuku, a nie prosta, dlatego transformata Hough'a może być zastosowana dopiero po przetworzeniu otrzymanego obrazu.

Obraz otoczenia jest reprezentowany w postaci biegunowej, która powstaje w wyniku procesu kalibracji. Dla pary (R_i, φ_i) współrzędne (x_i, y_i) w układzie kartezjańskim są wyrażone przez równania (1).

$$x_i = R_i \cos \varphi_i \quad (1)$$

$$y_i = R_i \sin \varphi_i$$

Podstawiając obliczone wartości do normalnego równania prostej:

$$x \cos \alpha + y \sin \alpha = c \quad (2)$$

otrzymujemy:

$$c_i = R_i \cos(\varphi_i + \alpha) \quad (3)$$

Dwa punkty należą do tej samej prostej, której normalna jest nachylona pod kątem α jeśli:

$$c_i = c_j \quad (4)$$

Ze względów praktycznych spełniony musi być warunek:

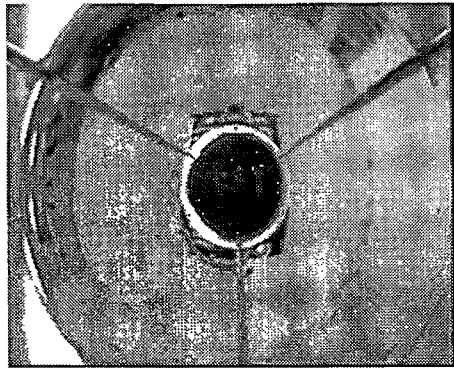
$$|c_i - c_j| < \varepsilon \quad (5)$$

Parametr ε nie jest statyczny i silnie zależy od wartości R_i . W naszych badaniach przyjęliśmy, że ε jest równe błędowi kalibracji.

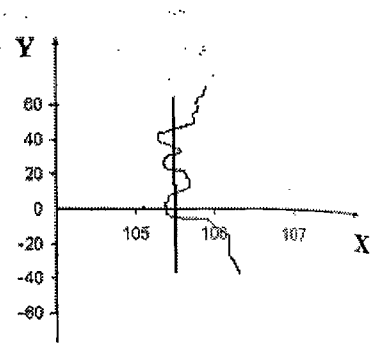
Transformata Hough'a pozwala obliczyć równanie prostej z dokładnością określoną przez dyskretyzację przestrzeni parametrów (c, α) . Aby określić dokładne wartości parametrów dla ciągu odczytów współliniowych poszukujemy takich wartości (c, α) , dla których błąd średnio-kwadratowy ε określony wzorem (6) jest minimalny.

$$\varepsilon = \frac{\sum_i k_i (R_i \cos(\alpha - \varphi_i) - c)^2}{N} \quad (6)$$

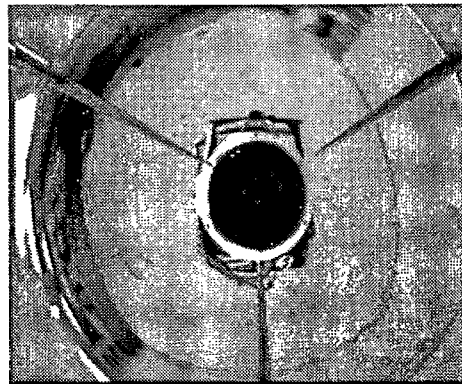
Parametr k jest malejącą funkcją R , przyjmuje wartość 1 dla R równego 0 i zero dla $R > 180$ cm. Rysunki 3a), 3c) przedstawiają obrazy z kamery w dwóch różnych położeniach robota, rysunki 3b), 3d) obraz ściany w kartezjańskim układzie współrzędnych i obraz wygenerowanych ścian.



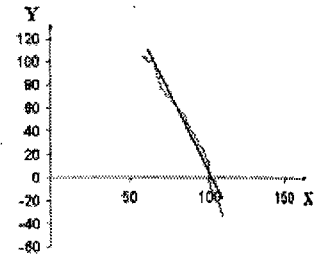
a)



b)



c)



d)

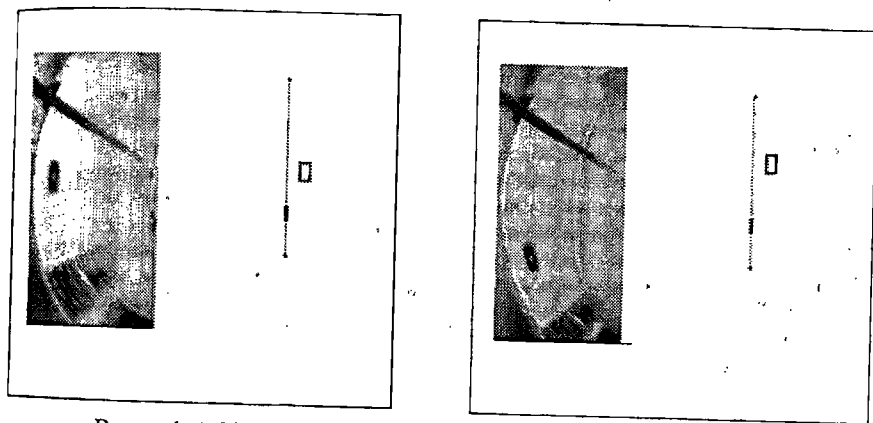
Rysunek 3: Obrazy otrzymane z kamery dookólnej i obraz ściany w przestrzeni kartezyjskiej

Jeśli dla tej samej prostej obliczone zostaną jej parametry przy dwu różnych położeniach robota, to różnica parametrów c określa przesunięcie w kierunku prostopadłym do ściany, a różnica parametrów α zmianę orientacji robota. Na podstawie zmian tych parametrów nie możemy jednak określić przesunięcia robota wzdłuż ściany. Aby określić dokładnie zmiany położenia należy znaleźć inne znaczniki. Ze względu na niską rozdzielczość kamery dookólnej wykrycie innej ściany nie zawsze jest możliwe, dlatego należy poszukiwać innych elementów charakterystycznych.

3. WYKRYWANIE ELEMENTÓW CHARAKTERYSTYCZNYCH

Objektami charakterystycznymi, które są wykrywane w większości systemów wykorzystujących kamery dookólne są linie pionowe, które na obrazach mają formę linii radialnych. W naszym systemie oprócz linii radialnych poszukuje się także

elementów o unikalnym kolorze. Aby określić odległość robota od elementu charakterystycznego musimy określić, czy jest on elementem podłogi, czy elementem ściany. W tym celu piksele należące do obrazu są klasyfikowane jako elementy podłogi, ściany i nieokreślone. Elementy ściany to takie, dla których odcinek łączący środek obrazu z danym pikselem przecina ścianę. Element podłogi to taki, dla którego odpowiedni odcinek nie przecina ściany i jego odległość od robota nie przekracza 160cm. Pozostałe piksele są uznane jako nieokreślone. Dla elementów charakterystycznych znajdujących się na podłodze odległość można określić na podstawie danych przechowywanych w tablicy, która powstaje w wyniku kalibracji.(rys. 1) Dla elementów ścian elementy charakterystyczne są rzutowane na wcześniej wykrytą prostą. W wyniku rzutowania otrzymujemy punkt w przypadku linii radialnych i odcinek w przypadku obszarów o unikalnym kolorze. Jako odległość do znacznika przyjmujemy odległość do jego rzutu. Rysunek 4 przedstawia obraz znacznika znajdującego się na ścianie i jego rzuty przy dwu różnych położeniach robota.

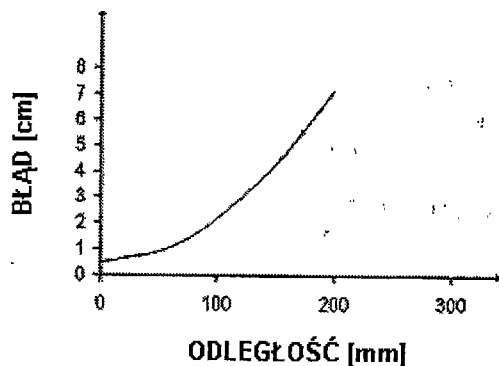


Rysunek 4 Obraz znacznika przy dwu różnych położeniach robota

4. EKSPERYMENTY

Eksperymenty przeprowadzono w statycznym otoczeniu typu wnętrze. W pierwszej fazie eksperymentu określono dokładność wykrywania ścian. Dokładność otrzymanych wyników jest ściśle związana z odległością między robotem, a ścianą. Jeśli odległość ta wynosi poniżej 130cm, otrzymana dokładność określenia przesunięcia w kierunku prostym do ściany wynosi 1.5cm, a dokładność określania orientacji względem ściany 1°. Dokładność określania znaczników na podłodze zależy od dokładności kalibracji i jest przedstawiona na rysunku 2.

Błąd określania przesunięcia wzdłuż ściany jest związany z błędem określania znaczników znajdujących się na ścianach. Na rysunku 5 przedstawiono błąd określania przemieszczenia robota wzdłuż ściany w zależności od odległości między robotem, a znacznikiem. W prowadzonych eksperymentach odległość między robotem a ścianą nie przekraczała 1m.



Rysunek 5 Błąd określenia przemieszczenia robota wzdłuż ściany

5. WNIOSKI

W pracy przedstawiono zastosowanie systemu wizji dookólnej do lokalizacji robota mobilnego poruszającego się w otoczeniu typu wnętrze. Zmianę położenia określa się na podstawie przemieszczeń względem naturalnych znaczników – ścian, krawędzi pionowych i obszarów o unikalnym kolorze. Jeśli przeszkody znajdują się blisko robota, to wyniki są porównywalne z podobnymi wynikami uzyskanymi przy pomocy bardzo drogiego skanera laserowego. Duży wpływ na jakość wyników ma dokładność kalibracji. Wadą systemu jest niska rozdzielczość obrazu, dlatego w następnych badaniach planuje się zastosowanie zwierciadeł parabolicznych, które charakteryzują się dużo lepszą rozdzielczością.

LITERATURA

- [1] Andersen C.S. Jones S. and Crowley J.L., *Appearance Based Processes for Visual Navigation*, In: *Proc. of Symposium on Intelligent Robotics Systems (SIRS)*, 1997.
- [2] Baker S., Nayar S., *A Theory of Catadioptric Image Formation*, ICCV'98, pp. 35-42, 1998
- [3] Betke M. and Gurvits L., *Mobile Robot Localization using Landmarks*, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1997
- [4] Davison A.J. and Murray D. W., *Mobile Robot Localization Using Active Vision*, In: *Proc. of European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 1998
- [5] Siemiątkowska B., Dubrawski, *Cellular Neural Network for Navigation of a Mobile Robot*, RSTC'98, Springer, 1998