

Lokalizacja robota mobilnego na podstawie obrazu z kamery

Artykuł przedstawia fragment systemu nawigacyjnego robota mobilnego. W systemie wykorzystuje się sztuczne znaczniki do określenia położenia w znanym otoczeniu. Obraz przekazywany z kamery, w którą wyposażony jest robot, poddawany jest analizie i wykrywane są sztuczne znaczniki. Porównując znane wymiary obiektów z ich parametrami obliczonymi na podstawie obrazu obliczane jest położenie i orientacja robota względem znacznika. Znając rozmieszczenie obiektów charakterystycznych w otoczeniu możemy określić współrzędne robota w globalnym układzie współrzędnych.

Localization a mobile robot based on camera image

The text shows a part of navigation system of a mobile robot. In system artificial markers are used to point out robot's position in known environment. Image is taken from camera, then during image analysis artificial markers are detected. Then orientation of robot in relation to marker is calculated using known size of markers and measured size on image. By knowing location of markers in environment robot is able to point out his position in environment.

1. WSTĘP

Nawigacja jest podstawowym zadaniem robota mobilnego, aby robot mógł poruszać się bezpiecznie w danym otoczeniu powinien znać swoje położenie względem otaczających go przeszkód. Określenie prawidłowych współrzędnych robota jest szczególnie istotne w przypadku pojazdów poruszających się autonomicznie. Istnieje wiele technik umożliwiających określenie położenia robota w zadanym otoczeniu. Wybór metody jest w dużym stopniu związany z typem sensorów w jakie wyposażony jest pojazd. W przypadku czujników aktywnych – laserowy czujnik odległości lub sonar wykrywane są pewne geometryczne cechy otoczenia, najczęściej ściany lub naroża [1][2]. Wraz ze wzrostem możliwości obliczeniowych komputerów coraz częściej w nawigacji robotów mobilnych stosowane są układy wizyjne. Obraz z kamery zawiera znacznie więcej informacji niż dane pochodzące z czujników aktywnych, większe są więc możliwości charakterystycznych elementów otoczenia taką cechą może być kolor elementu [3], tekstura[4]. W poniższy artykule proponujemy zastosowanie sztucznych znaczników umożliwiających lokalizację robota w znanym otoczeniu. Porównując znane wymiary obiektów z ich parametrami obliczonymi na podstawie obrazu obliczane jest położenie i orientacja robota względem znacznika. Znając rozmieszczenie obiektów charakterystycznych w otoczeniu możemy określić współrzędne robota w globalnym układzie współrzędnych. System lokalizacji składa się z następujących etapów:

- Pobieranie obrazu z kamery
- Korekcja obrazu

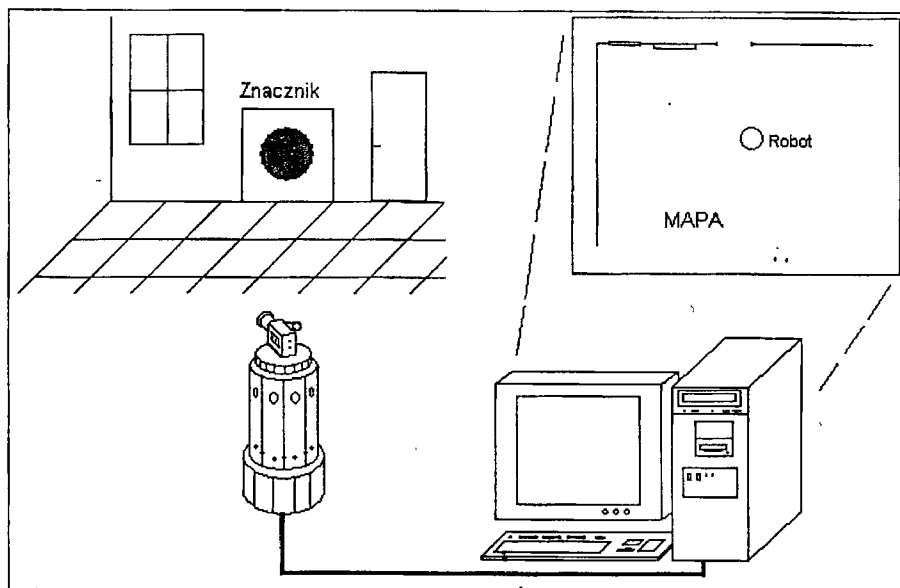
- Usuwanie szumu drobnoziarnistego
- Wykrywanie znaczników
- Obliczanie podstawowych parametrów znacznika
- Określenie położenia robota względem obiektu charakterystycznego
- Określenie położenia robota w globalnym układzie współrzędnych

W poniższej pracy zostanie opisany każdy z wymienionych etapów oraz wyniki eksperymentów, które zostały przeprowadzone przy użyciu robot mobilnego B14.

System lokalizacji robota składa się z trzech elementów:

- znacznika – obiektu o znanych rozmiarach wprowadzonego sztucznie do otoczenia, łatwego do rozpoznania, kontrastującego z otoczeniem;
- robota – wykorzystywany był robot mobilny B-14 z zainstalowaną kamerą
- komputera PC na którym wykonywana była obróbka obrazu.

Znaczniki wykonano z czarnego papieru i umieszczano na białym tle. Znacznikami z którymi przeprowadzono eksperymenty były: koło o znanej średnicy i 2 równoległe umieszczone pasy o znanej długości i odstępach. Schemat całego systemu ilustruje Rysunek 1.



Rysunek 1 Schemat systemu nawigacji

2. POBRANIE I PRZYGOTOWANIE OBRAZU

2.1. Pobieranie obrazu z kamery

Kamera, z której obraz jest pobierany, znajduje się na górnej pokrywie robota. Pobieranie obrazu jest realizowane programowo przy udziale komputera PC robota z kartą wizyjną. Karta umożliwia pozyskanie obrazu w rozdzielczości do 640 pikseli w poziomie i do 480 pikseli w pionie. Dostępna ilość barw to 256 odcieni szarości lub 16 mln kolorów. Rozdzielczość obrazu i ilość barw jest wybierana programowo. Dla dalszych etapów pozyskiwany jest zawsze obraz o rozdzielczości 640 na 480 pikseli w 256 odcieniach szarości.

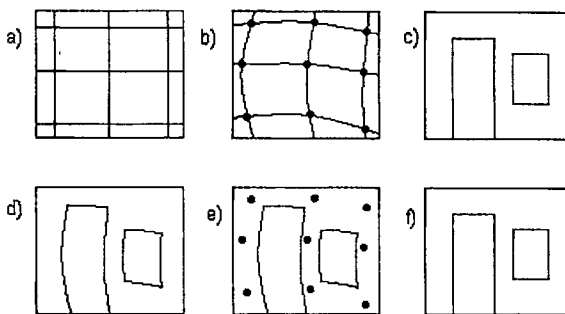
2.2. Korekcja obrazu

Kamera z której pobierany jest obraz jest kamerą szerokokątną. Pole widzenia kamery jest szerokie, ale uzyskany obraz jest odwzorowaniem powierzchni mocno wypukłej soczewki na prostokąt. Z tego powodu kamera wprowadza znaczne zniekształcenia nieliniowe typu beczkowatego. Rosną one w każdym kierunku wraz ze wzrostem odległości od środka obrazu.

W celu wyeliminowania zniekształceń nieliniowych posłużono się następującą metodą:

- wykonano obraz wzorcowy prostokątnej siatki;
- na podstawie obrazu siatki wykonano mapę zniekształceń nieliniowych;
- każdy następny obraz poddawany jest takim przekształceniom geometrycznym, które spowodowałyby przekształcenie zniekształconego obrazu prostokątnej siatki w obraz bez zniekształceń.

Mapa zniekształceń nieliniowych obejmuje obszar prostokątny o rozmiarach mieszczących się w polu widzenia kamery wzdłuż pionowej i poziomej osi symetrii obrazu. Podczas tworzenia mapy wyznaczane są punkty przecięcia linii poziomych i pionowych w zniekształconym obrazie. Podczas wykonywania korekcji, obraz wejściowy jest traktowany jak obraz złożony z wielu czworokątów, których współrzędne wierzchołków są określone w mapie zniekształceń. Każdy z czworokątów jest przekształcany, odwzorowaniem dwuliniowym do obszaru odpowiadającego bazowemu prostokątowi siatki mapy. Schemat korekcji przedstawia Rysunek 2. Rysunek 2a) przedstawia siatkę ustawianą przed kamerą. W części b) zamieszczono schematycznie obraz siatki z wprowadzonymi zniekształceniami nieliniowymi. Rysunek 2c) przedstawia fragment otoczenia robota widziany bez zniekształceń. W części d) zamieszczono ten sam fragment widziany w kamerze – widoczne są zniekształcenia obrazu. Są one identyczne jak dla siatki wzorcowej. Złożenie zniekształconego obrazu otoczenia z mapą zniekształceń zamieszczono w części e). Rysunek 2 f) przedstawia obraz po korekcji – jak widać jest to prawidłowy obraz otoczenia.



Rysunek 2 Schemat usuwania zniekształceń nieliniowych wprowadzanych przez kamerę

2.3. Usuwanie szumu drobnoziarnistego

Szum drobnoziarnisty powstaje podczas procesu pobierania obrazu. Składa się z przypadkowych zmian barwy pojedynczych piksli. Dodatkowo korekta wprowadza w brzegowej części obrazu zniekształcenia w postaci drobnych wzorów.

Wzory i szum drobnoziarnisty są usuwane przy pomocy filtru medianowego. Działanie tego filtru polega na przetworzeniu każdego piksela obrazu w następujący sposób:

- z obrazu wybierany jest kwadrat o boku 5 piksli, którego środek pokrywa się z filtrowanym pikselem;
- poziomy jasności piksli z kwadratu są sortowane według rosnących wartości;
- następnie poziom jasności piksela jest zastępowany środkową wartością jasności po posortowaniu.

Schemat działania filtra zawiera Rysunek 3. W części a) zamieszczono jasności piksela i jego otoczenia. Filtrowany piksel został wyróżniony. Jak widać, akurat przez środek otoczenia przebiega cienka, jaśniejsza linia traktowana jako fragment wzoru. Dodatkowo szum drobnoziarnisty powoduje różnice w jasności sąsiadujących piksli. W części b) zamieszczono ciąg jasności w postaci „liniowej”, zaś w części c) – te same wartości jasności po posortowaniu. Nowa jasność piksela jest środkową jasnością po posortowaniu.

a)

20	21	25	22	21
23	24	21	20	23
30	31	32	31	30
22	23	20	21	20
23	24	26	21	23

b)

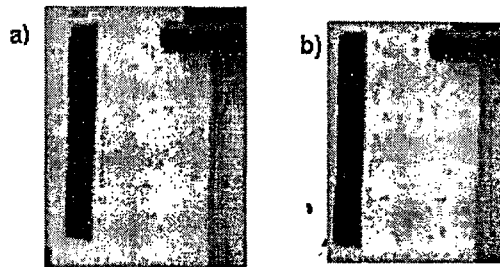
20 21 25 22 21 23 24 21 20 23 30 31 32 31 30 22 23 20 21 20 23 24 26 21 23

c)

20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 23 23 23 23 23 24 24 25 26 30 30 31 31 32

Rysunek 3 Schemat działania filtra medianowego: a) piksel wraz z otoczeniem; b) wartości jasności piksli z otoczenia przed posortowaniem; c) Jasność piksli po posortowaniu i wybór wartości środkowej

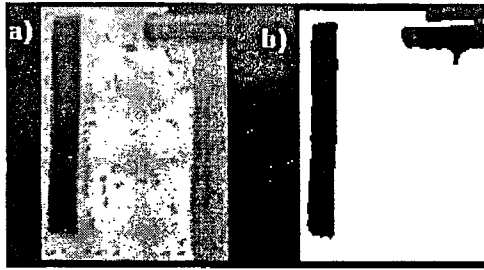
Efekt zastosowania filtra medianowego przedstawia Rysunek 4.



Rysunek 4 Działanie filtra medianowego: a) fragment obrazu z szumem drobnoziarnistym i wzorami; b) ten sam obraz po filtracji

2.4. Progowanie

Progowanie polega na zastąpieniu wielu poziomów jasności obrazu tylko dwoma barwami: czarną i białą. Wszystkie piksele, których poziom jasności jest mniejszy od wartości progowej zmieniają barwę na czarną, a pozostałe na białą. Podczas wielu eksperymentów dobrano optymalną jasność progową jako 80 przy skali jasności od 0 do 255. Podczas progowania następuje duża utrata informacji zawartej w obrazie. Efektem progowania jest połączenie piksli o różnej jasności, jaśniejszych niż próg, w obszary białe, a piksli ciemniejszych w obszary czarne. Efekt działania progowania przedstawia Rysunek 5.



Rysunek 5 Działanie progowania: a) fragment obrazu po filtracji medianowej; b) ten sam fragment obrazu po progowaniu.

3. ORIENTACJA ROBOTA W OTOCZENIU

3.1. Wykrywanie znaczników

W obrazie uzyskanym po progowaniu istnieją tylko białe i czarne obszary. Wyodrębnienie obszarów w programie jest wykonywane metodą rozrostu ziarna. Wszystkie obszary całkowicie zamknięte w obrazie, tzn. takie, które nie dochodzą do brzegu obrazu, są poddawane wykrywaniu cech charakterystycznych.

Rozpoznawanie znaczników jest wykonywane przez wyznaczenie momentów drugiego i wyższych rzędów dla każdego obszaru i porównanie wyników z wynikami otrzymanymi dla znacznika. Wyznaczone momenty są odporne na zmianę odległości robota od znacznika i orientacji robota względem znacznika.

3.2. Obliczanie podstawowych parametrów znacznika

Podstawowym mierzonym parametrem znacznika są: widoczna wysokość i szerokość oraz położenie środka ciężkości. Pomiar widocznej wysokości umożliwia określenie odległości między obiektywem kamery i znacznikiem, zaś wyznaczenie środka ciężkości umożliwia określenie kąta między osią kamery i kierunkiem do znacznika. Jeżeli znacznik składa się z kilku elementów, wszystkie parametry są wyznaczane dla każdej części składowej.

3.3. Określenie położenia robota względem obiektu charakterystycznego

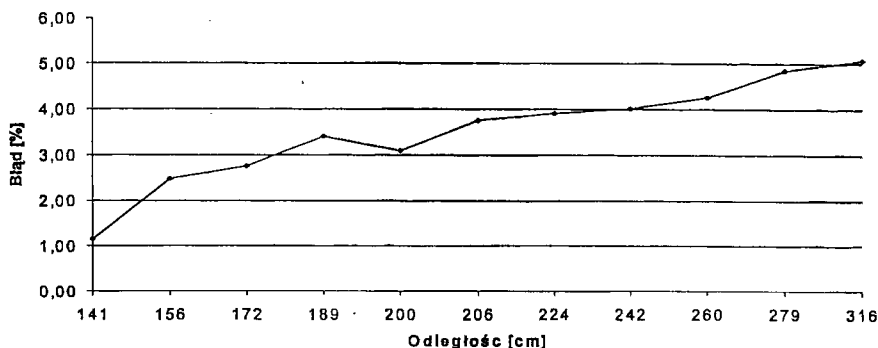
Określenie położenia robota względem obiektu jest w istocie wyznaczeniem położenia obiektu charakterystycznego w układzie współrzędnych w którego środku znajduje się robot. W układzie tym robot znajduje się w centrum układu współrzędnych, zaś kierunek osi OY pokrywa się z orientacją kamery. Wyznaczenie współrzędnych obiektu sprowadza się do wyznaczenia odległości między robotem i obiektem oraz kąta między osią kamery i kierunkiem do obiektu.

Eksperymenty przeprowadzono dla znacznika w kształcie koła oraz znacznika złożonego z dwóch pionowych pasów. Mierzone odległości mieściły się w zakresie od 140 do 340 cm.

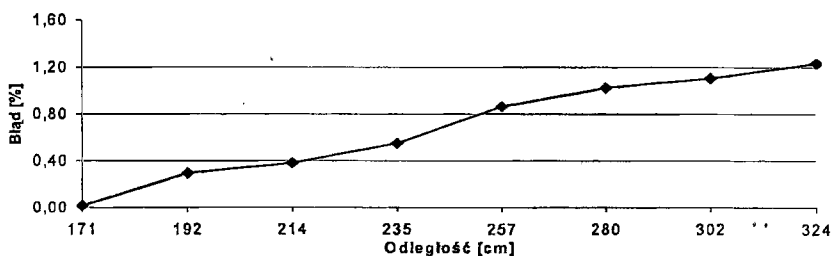
Błąd znormalizowany jest liczony według wzoru:

$$Z_{\text{normalizowany błąd}} = \frac{| \text{Odległość} - \text{Odległość wyliczona} |}{| \text{Odległość} |} * 100\% \quad (1)$$

Wykres znormalizowanego błędu wyznaczenia odległości zamieszczono na rysunkach Rysunek 6 i Rysunek 7.



Rysunek 6 Błąd wyznaczenia odległości od znacznika w kształcie koła



Rysunek 7 Błąd wyznaczenia odległości od znacznika w postaci dwóch pionowych pasów

Odległość wyznaczano dla znacznika okrągłego na podstawie zmierzonej wysokości znacznika (średnicy pionowej obrazu znacznika), dla pasów – na podstawie zmierzonej wysokości.

Przy zastosowaniu znacznika w kształcie koła dokładność wyznaczenia odległości jest mniejsza, ponieważ filtr medianowy usuwa najbardziej wysunięte na brzeg pojedyncze piksele obszaru traktując je jako szum drobnziarnisty. Brzeźgi wąskich prostokątnych pasów nie są wrażliwe na działanie filtra, ponieważ tworzą prostą krawędź, bez wypukłych fragmentów. W rezultacie pomierzone wysokość i szerokość znacznika są obciążone większym błędem niż pomierzone wysokość i szerokość pasów.

Kąt między osią kamery i kierunkiem do obiektu jest wyznaczany na podstawie przesunięcia środka ciężkości znacznika względem pionowej osi symetrii obrazu i znajomości szerokości kątownej pola widzenia kamery.

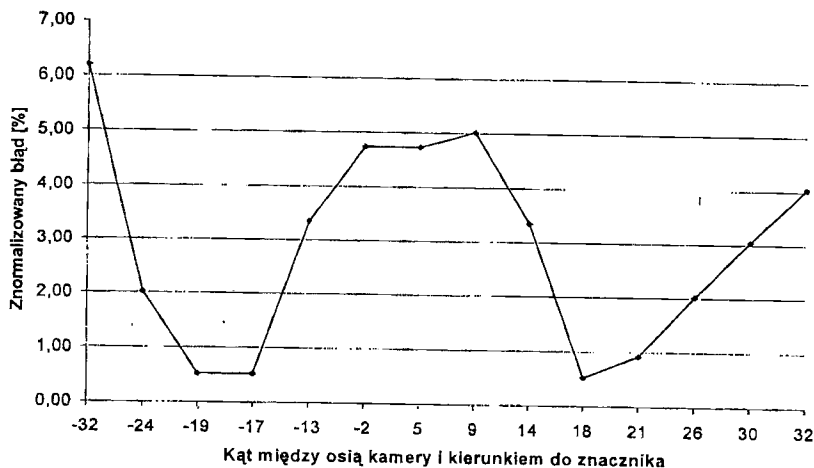
3.4. Określenie położenia robota w globalnym układzie współrzędnych

Wyznaczenie położenia robota w globalnym układzie współrzędnych przy założeniu znajomości położenia obiektu charakterystycznego w układzie robota wymaga:

- wyznaczenia kąta między osiami współrzędnych układu robota i układu globalnego oraz wykonania obrotu współrzędnych o wyznaczony kąt;

- przesunięcia środka układu współrzędnych w oparciu o znajomość położenia obiektu charakterystycznego w globalnym układzie współrzędnych oraz w układzie związanym z robotem.

Ponieważ znaczniki podczas eksperymentów były umieszczane równoległe do ściany, wyznaczenie kąta między osiami układu współrzędnych związanego z robotem i globalnego układu współrzędnych sprowadzało się do wyznaczenia kąta między osią kamery i powierzchnią znacznika. Metoda wyznaczania tego kąta była inna dla każdego znacznika. W przypadku znacznika w kształcie koła próbowano wyznaczyć kąt między kierunkiem do środka znacznika a powierzchnią znacznika, zakładając znajomość kąta między osią kamery a kierunkiem do środka znacznika. Wyznaczano go na podstawie rozmiarów poziomej i pionowej średnicy elipsy w obrazie znacznika. Dla kątów mniejszych niż 70° metoda ta dawała dość dobre wyniki (Rysunek 8).



Rysunek 8 Błąd wyznaczenia kąta między kierunkiem do środka znacznika a ścianą w zależności od kąta między osią kamery i kierunkiem do środka znacznika

Znormalizowany błąd jest wyznaczany wg wzoru:

$$\text{Znormalizowany błąd} = \frac{|\text{Kąt} - \text{Kąt wyliczony}|}{90^\circ} * 100\% \quad (2)$$

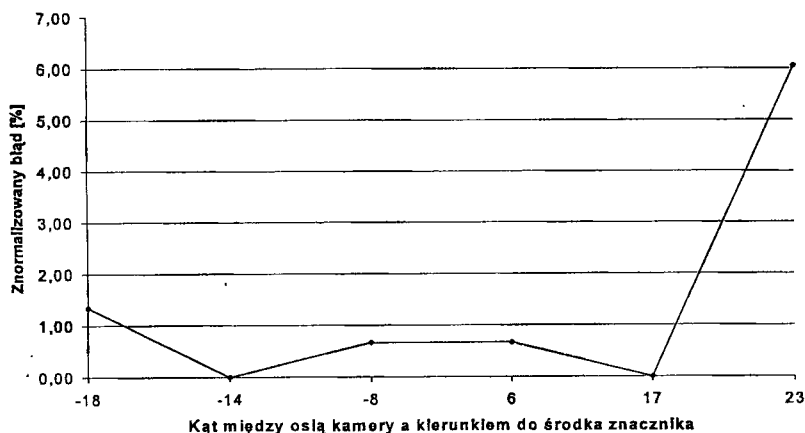
W sytuacji gdy robot znajduje się naprzeciw lub prawie naprzeciw znacznika wyniki są niezadowalające. Błąd mocno zależy od orientacji kamery i jest bardzo duży. Wynika to z przebiegu funkcji arcus cosinus dla argumentów bliskich 1. Błąd jednego piksla w pomiarze wysokości lub szerokości jest w stanie spowodować 10° - 20° błędzie w wyznaczeniu kąta. Z tego względu zaniechano eksperymentów z tym znacznikiem.

W przypadku znacznika składającego się z dwóch pasów kąt między osią kamery i powierzchnią znacznika wyznaczano bezpośrednio, na podstawie znajomości odległości między znacznikami i wyznaczonych odległości do obu znaczników. Uzyskiwane wyniki pozwalają na dość dokładne określenie położenia robota w globalnym układzie współrzędnych. Jedynie jeżeli jeden z pasów znajduje się blisko brzegu obrazu, błąd wyznaczenia odległości jest znaczny i przekracza 10 cm. Wykres zależności błędzie

wyznaczonego położenia robota od kąta między osią kamery i kierunkiem do środka znacznika ilustruje Rysunek 9.

Znormalizowany błąd jest wyznaczany według równania:

$$\text{Znormalizowany błąd} = \frac{|\text{Współrzędna} - \text{Współrzędna wyliczona}|}{|\text{Odległość}|} * 100\% \quad (3)$$



Rysunek 9 Zależność błędu wyznaczenia położenia od kąta między osią kamery i kierunkiem do środka obiektu

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki prac, których celem jest zbudowanie układu umożliwiającego określenie położenia robota względem sztucznych znaczników. Eksperymenty przeprowadzone dla dwóch typów elementów charakterystycznych – koło i dwa równoległe paski. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że błąd lokalizacji nie przekracza 5% w przypadku obliczania odległości i 7% w przypadku określania orientacji. Błąd można zmniejszyć analizując dane pochodzące z innych sensorów. W przyszłości planujemy określanie położenia robota względem naturalnych znaczników otoczenia.

LITERATURA

- [1] J. L. Crowley, *Navigation for an Intelligent Mobile Robot*, IEEE Journal of Robotics, 1989
- [2] A. Borkowski, A. Dubiński, B. Siemiątkowska, *Zagadnienia nawigacyjne dla robotów mobilnych*
- [3] Everet, *Sensors For Mobile Robots, theory and applications*, A.K. Peters Ltd 1995
- [4] H.L. Chou, W.H. Tsai, *A new approach to robot localization by house corners*, Pattern recognition, vol. 19, no. 6, 1986.
- [5] Z. Doods, G.D Hager, *A color interest operator for landmark-based navigation*, AAAI Conference of Artificial Intelligence 1997.