

LASER RANGE FINDER DO NAWIGACJI SPECJALNYCH ROBOTÓW MOBILNYCH

Streszczenie:

W pracy przedstawiono wyniki badań zastosowania laserowego czujnika odległości do tworzenia map otoczenia i nawigacji specjalnych robotów mobilnych. Przedstawiono propozycję systemu nawigacji.

Abstract:

Results of a laser range finder application for inspection mobile robots navigation are presented. The environment maps construction is also described as well as the navigation system is proposed.

1. WSTĘP

W ramach programu europejskiego TELEMAN, w projekcie IMPACT-PECO oraz w ramach grantu krajowego Nr. 8 T11A 025 09 „Badania metod i zastosowanie techniki laserowej do wspomagania nawigacji robotów mobilnych” przeprowadzono badania zastosowania laserowego czujnika odległości (LASER RANGE FINDER-LRF), zakupionego w ramach projektu IMPACT z amerykańskiej firmy HelpMate (uprzednio TRC) z serii prototypowej. W czasie rozpoczynania badań czujnik ten był jedynym tego typu urządzeniem dostępnym za stosunkowo niską cenę. Zbadano LRF i określono jego podstawowe charakterystyki, opracowano oprogramowanie do tworzenia różnego rodzaju map otoczenia, a także przeprowadzono eksperymenty na rzeczywistych robotach mobilnych CERBERUS i PIONEER 1, wykorzystując LRF do tworzenia map otoczenia wspomagających nawigację. Program IMPACT miał na celu zbudowanie specjalnego robota mobilnego, taniego, małogabarytowego, z napędem gąsienicowym, przeznaczonego do wykonywania misji rekonesansowych w elektrowniach atomowych, mających na celu utworzenie mapy napromieniowania środowiska. Misje interwencyjne w takich obiektach winny być realizowane przez innego rodzaju roboty specjalne, ciężkie, znacznie droższe i przeznaczone do wielokrotnego użytku. Zbudowany w ramach projektu robot rekonesansowy „imp” został wypróbowany w elektrowni atomowej w Smoleńsku w Rosji.

Czujniki laserowe do pomiaru odległości, zastosowane do tworzenia map otoczenia, które z kolei można stosować do wspomagania telenawigacji lub też nawigacji autonomicznej robotów mobilnych, są znacznie lepsze niż stosowane do tych celów czujniki ultradźwiękowe. Badania zrealizowane w w/w obu projektach potwierdziły znaczną przewagę czujników laserowych. Należy jednak wspomnieć o pewnych niedostatkach tych czujników. Jeśli, np. ze względu na bezpieczeństwo zastosować laser o małej mocy, rzędu kilku mW, to wówczas zakres pomiarowy odległości LRF będzie wynosił od kilku do ok. 10m. LRF charakteryzują się także zależnością pomiaru od kąta powierzchni w stosunku do kierunku promienia pomiarowego oraz od koloru i rodzaju tej powierzchni. Opracowane w projektach oprogramowanie w wysokim stopniu kompensuje te niedostatki LRF, poprzez zastosowanie dwupoziomowej integracji wyników pomiarów. Ze względu na specjalne cele zastosowania LRF, do prezentacji otoczenia zastosowano mapy lokalne i kompozytowe typu rastrowego, pozwalające wygodnie

przedstawiać również takie obiekty, które trudno prezentować w postaci wektorowej, jak np. wiązki kabli.

Do porównywania map globalnych i lokalnych, celem określenia pozycji robota jak też korekcy danych jego układu odometrycznego, a następnie lokalnego planowania ścieżki, zastosowano rastrowe mapy lokalne i rastrowe mapy kompozytowe, uzyskane w wyniku obróbki i integracji danych z LRF. Mapy globalne mogą być wprowadzane do systemu nawigacyjnego w standardzie CAD (np. rysunek piętra budynku) i są prezentowane w postaci wektorowej. Do porównania map przekształca się mapy lokalne zwykłe i kompozytowe do postaci wektorowej.

W referacie proponuje się ogólną strukturę systemu nawigacyjnego robota mobilnego, wykorzystującego wymienione rodzaje map otoczenia i odpowiednie algorytmy planowania ścieżki i samolokalizacji robota. Algorytmy te, zbudowane z wykorzystaniem neuronowych sieci komórkowych są przedstawione w [1].

2. CHARAKTERYSTYKA LRF I WYNIKI JEGO BADAŃ

LRF skanuje przestrzeń promieniem podczerwonym, niewidzialnym dla oka i wykrywa ściany, podłogi i inne przeszkody, zarówno stacjonarne jak i ruchome. LRF wyposażony jest w jedno lustro obracające się w płaszczyźnie poziomej i wychylające się w płaszczyźnie pionowej na 45° - od poziomu w dół lub w górę, w zależności od ustawienia. W efekcie, promień pomiarowy analizuje otoczenie ruchem wznoszącej się i opadającej spirali. Główne parametry LRF, wg informacji technicznej:

zakres pomiarowy = 0 do 12m; optyczna moc na wyjściu = 6mW; dokładność = 25mm; częstotliwość próbkowania = 25 kHz; rozdzielczość kątowna = 0.18° ; prędkość obrotowa w płaszczyźnie poziomej = 600 obr./na min; nachylenie pionowe = cykl 45° na każde 10 obrotów; waga = 2kg; sprzężenie z układem sterowania = Ethernet.

Podczas badań uzyskano praktyczny zakres pomiarowy LRF ok. 3-4m, w zależności od powierzchni. Osiągnięta dokładność pomiaru odległości: 2-3%. Niektóre materiały: czarny papier, półprzezroczysty plastik, czarna guma i cienkie kable są niewidoczne dla czujnika. Inne materiały wykazują charakterystyczną zależność ich widoczności od kąta padania na nie promienia laserowego. Zależności te pokazano na wykresach.

Poprzez wprowadzenie tzw. map "kompozytowych" otoczenia, tj. zintegrowanych map lokalnych, utworzonych w różnych położeniach i orientacjach LRF, uzyskuje się obraz otoczenia z przeanalizowanymi również tymi obszarami, które nie zostały ujęte przez poszczególne mapy lokalne. Przykładowe mapy lokalne i kompozytowe ujęte są na zdjęciach z ekranu PC. W wyniku badań można stwierdzić, że badany typ LRF może być z powodzeniem stosowany do nawigacji robotów mobilnych poruszających się z prędkościami kilku m/sec.

3. SCHEMAT SYSTEMU NAWIGACJI

Ogólny schemat systemu przedstawiony jest na rysunku.

Podstawowe jego elementy to:

1. Zapamiętanie i analiza danych pochodzących z sensorów
2. Tworzenie lokalnej mapy otoczenia

Na podstawie odczytów sensorów można tworzyć jedynie mapę bezpośrednio obserwowanego otoczenia, mapę tą nazywamy mapą lokalną. Każdej z klatek tej mapy przypisywana jest wartość liczbowa określająca poziom potwierdzenia hipotezy, że dana klatka jest zajęta przez przeszkodę.

- 3 Tworzenie „globalnej” (kompozytywnej) mapy otoczenia

Informacje przechowywane w mapach lokalnych utworzonych przy różnych położeniach robota są agregowane i przechowywane w globalnej mapie otoczenia.

4. Globalne planowanie ścieżki

W oparciu o utworzoną mapę globalną (kompozytową) lub/i mapę globalną wprowadzoną „a priori”, generowana jest ścieżka reprezentowana jako ciąg klatek.

5. Lokalne planowanie ścieżki

Ścieżka wygenerowana przez moduł planowania globalnego, musi zostać wygładzona. Moduł planowania globalnego generuje ścieżkę od robota do celu i traktuje klatki nierozpoznane jak wolne. W trakcie realizacji trajektorii, system musi sprawdzać, czy na zaplanowanej drodze nie pojawiły się przeszkody i czy nie należy dokonać powtórnego planowania.

6. Pozycjonowanie

Aby system nawigacyjny mógł działać poprawnie, robot musi znać swoje położenie i orientację w globalnym układzie współrzędnych. Niezbędne więc jest wyposażenie robota w moduł umożliwiający na podstawie znajomości mapy globalnej i odczytów sensorów określenie położenia robota w globalnym układzie współrzędnych.

Opisany powyżej ciąg operacji jest wykonywany aż do momentu osiągnięcia celu, lub rozpoznania sytuacji, że cel nie może zostać osiągnięty.

4. RASTROWA REPREZENTACJA OTOCZENIA RUCHOMEGO ROBOTA

Robot poruszający się w sposób autonomiczny po nieznanym otoczeniu musi posiadać zestaw czujników, które umożliwiają określenie odległości do przeszkód. Na podstawie wskazań sensorów tworzona jest mapa otoczenia, która jest wykorzystywana w modułach określania pozycji robota i globalnego planowania ścieżki.

Reprezentacja sceny robota musi spełniać następujące warunki:

- Musi istnieć możliwość agregowania danych pochodzących z różnych sensorów i różnych położzeń robota.
- Dokładność mapy powinna wzrastać wraz ze wzrostem liczby informacji napływających z czujników odległości.
- Powinna istnieć możliwość reprezentowania przeszkód o różnych kształtach.

Biorąc pod uwagę wymienione powyżej warunki przyjęto rastrowy opis otoczenia. Scena dzielona jest na kwadraty i każdemu z nich przypisywana jest wartość liczbowa określająca stopień potwierdzenia hipotezy, że dana klatka jest zajęta przez przeszkodę. Ważnym zagadnieniem, które należy rozwiązać jest dobór odpowiedniego wymiaru klatki. Wymiar ten nie powinien być mniejszy niż dokładność sensorów robota.

Probabilistyczny model tworzenia mapy dla laserowego czujnika odległości.

Używany w eksperymentach LRF firmy HelpMate przesłał 2000 pomiarów w ciągu jednej sekundy, a więc, aby system mógł działać w czasie rzeczywistym, niezbędne jest przetworzenie bardzo dużej liczby informacji w krótkim czasie. Zrezygnowano z przeprowadzania wstępnej filtracji danych i zastosowano uproszczoną metodę agregacji odczytów. Algorytm działania systemu jest następujący:

- Mapa otoczenia jest przechowywana w pamięci komputera w postaci tablicy. Element ij tablicy odpowiada elementowi ij mapy. Komórki tablicy przechowują informację o wartości prawdopodobieństwa, że dana klatka jest zajęta przez przeszkodę. Początkowy

stan wszystkich komórek jest *nieznany* (odpowiada to wartości prawdopodobieństwa 0.5).

- Z bufora odczytywane są informacje pochodzące z lasera: kąt skanowania (ϕ) i odległość R . Na podstawie tych danych obliczane są współrzędne fragmentu wykrytej przeszkody (x_i, y_i).

$$x_i = X_R + R \cdot \cos(\phi) \quad (1)$$

$$y_i = Y_R + R \cdot \sin(\phi) \quad (2)$$

X_R, Y_R - współrzędne położenia sensora w globalnym układzie współrzędnych. Współrzędne ij odpowiedniej kratki obliczane są następująco:

$$i = \text{round}\left(\frac{x_i}{\delta_x}\right) \quad (3)$$

$$j = \text{round}\left(\frac{y_i}{\delta_y}\right) \quad (4)$$

gdzie: $\delta_x \times \delta_y$ - wymiary kratki.

W następnym kroku obliczane są numery klatek, przez które przechodzi odcinek łączący pozycję lasera z komórką ij . Przyjmuje się, że wszystkie kratki poza ij przez które przebiega wiązka lasera są wolne od przeszkód.

Wartości prawdopodobieństw zostały dobrane doświadczalnie i przyjęto, że jeśli P_z - prawdopodobieństwo, że kratka jest zajęta, a P_w - prawdopodobieństwo, że kratka jest wolna, to:

1. Jeśli na podstawie pomiaru lasera kratka została uznana jako wolna, to prawdopodobieństwo $P_z < 0.5$ i $P_w = 1 - P_z > 0.5$.

2. Jeśli kratka została uznana jako zajęta to $P_z > 0.5$,

- Stosując wzór Bayesa, regułę agregacji można zapisać następująco:

$$P\left(\frac{z}{d_0}\right) = \frac{P\left(\frac{d_0}{z}\right) \cdot P(z)}{P\left(\frac{d_0}{z}\right) \cdot P(z) + P\left(\frac{d_0}{w}\right) \cdot P(w)} \quad (5)$$

$$P\left(\frac{w}{d_0}\right) = 1 - P\left(\frac{z}{d_0}\right) \quad (6)$$

$P(z)$ - obliczone w poprzednim kroku prawdopodobieństwo, że dana komórka jest zajęta.

$P(w)$ - obliczone w poprzednim kroku prawdopodobieństwo, że dana komórka jest wolna.

$P\left(\frac{d_0}{z}\right)$ - prawdopodobieństwo, że dana komórka jest zajęta, przy założeniu, że wartość wskazań sensora wynosi d_0 , wartość ta jest obliczana na podstawie charakterystyki sensora.

$P(d_0/w)$ -prawdopodobieństwo, że dana komórka jest wolna, przy założeniu, że wartość wskazań sensora wynosi d_0 . Wartość ta jest obliczana na podstawie charakterystyki sensora.

$P(w/d_0)$ -nowa wartość prawdopodobieństwa, że dana komórka jest wolna.

$P(z/d_0)$ -nowa wartość prawdopodobieństwa, że dana komórka jest zajęta.

Ponieważ system powinien działać w czasie rzeczywistym przyjęto następujące uproszczenia:

- Wartości prawdopodobieństw są obliczane z dokładnością do 0.01.
- Ponieważ wartości prawdopodobieństwa są liczbami z przedziału [0,1] i obliczane są z dokładnością do 0.01, więc mogą być przechowywane w tablicy w postaci liczb całkowitych z przedziału [0,100] w ten sposób, że liczba k odpowiada wartości prawdopodobieństwa $0.01 \cdot k$.

Jeśli prawdopodobieństwo P_z , w przypadku gdy klatka jest zajęta oznaczymy symbolem Z_z , a w przypadku gdy jest wolna Z_w , to z warunków 1-2 wynika, że wartości komórek mapy lokalnej są zawsze agregowane z jedną z dwu liczb Z_z lub Z_w . Wartości zapamiętywanych prawdopodobieństw są z przedziału [0.01, 0.99] i zmieniają się w sposób dyskretny co 0.01. Możemy więc utworzyć tablice T_w i T_z takie, że i -ty element tablicy T_w przechowuje wartość wzoru 5 dla $P(d_0/z) = i \cdot 0.01$ i $P_z = Z_w$, a i -ty element tablicy T_z przechowuje wartość wzoru 5 dla $P(d_0/z) = i \cdot 0.01$ i $P_z = Z_z$.

Jeśli dla danej klatki poprzednia wartość prawdopodobieństwa wynosiła $k \cdot 0.01$ i na podstawie kolejnych wskazań lasera stwierdzono, że jest zajęta przez przeszkodę to nowa wartość prawdopodobieństwa wynosi $0.01 \cdot T_z[k]$. Jeśli natomiast klatka została uznana jako wolna, to nowa wartość $P(z/d_0) = 0.01 \cdot T_w[k]$.

Powyższa metoda jest kilkakrotnie szybsza niż klasyczna metoda probabilistyczna. W podejściu klasycznym, aby obliczyć nową wartość klatki należy wykonać cztery mnożenia, w opisywanej metodzie wystarczy odczytać wartość elementu jednowymiarowej tablicy.

Dzięki dyskretyzacji prawdopodobieństw zmniejsza się czterokrotnie obszar pamięci niezbędny do przechowania mapy. Wartości klatek są typu char, czyli zajmują 1 byte, a nie 4 byte jak to ma miejsce w przypadku, gdy wartości prawdopodobieństw są przechowywane w postaci liczb rzeczywistych (typu float).

Nie zauważono pogorszenia dokładności mapy przy przyjętych uproszczeniach.

5. MAPY KOMPOZYTOWE 2.5D PRZEJEZDNOŚCI I WYSOKOŚCI

W w/w projektach poza mapami 2D, lokalnymi i kompozytowymi, opracowano mapy 2.5D przejezdności robota i wysokości jego otoczenia. Mapy te są budowane z wykorzystaniem przestrzennej informacji z LRF i powinny być wysoce przydatne przy wspomaganii nawigacji pojazdów ruchomych. Przykładowe mapy tego typu są pokazane na zdjęciach z PC. Zostały one wykonane przy pomocy LRF, w naturalnym środowisku.

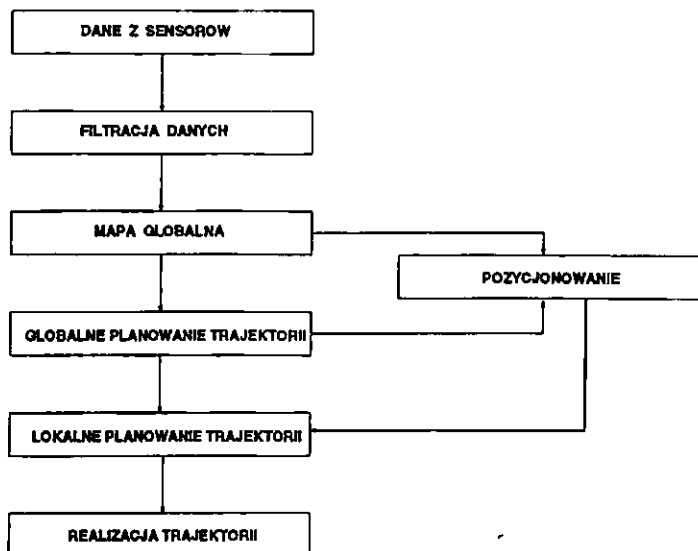
6. PODSUMOWANIE

W wyniku badań LRF stwierdzono rzeczywistą przydatność tego typu czujników do wspomaganie nawigacji robotów mobilnych, a w szczególności specjalnych, kiedy niezbędne jest np. działanie w nocy, w słabo uporządkowanym środowisku. Opracowane różne rodzaje map otoczenia pozwalają w maksymalnym stopniu wykorzystywać możliwości LRF. Opracowana struktura systemu nawigacji pozwala wprowadzać mapy globalne, również za pośrednictwem CAD, i dokonywać planowania ścieżki i samolokalizacji robota w oparciu o uzyskane z LRF mapy otoczenia. Badania wskazują na możliwość i celowość zastosowania uzyskanych rozwiązań dla pojazdów autonomicznych specjalnych, robotów mobilnych usługowych dla osób (m.in. w szpitalach), jak też do transportu i dystrybucji towarów w handlu, w tym w hurtowniach oraz w wytwarzaniu. Dla robotów specjalnych można zaproponować zwiększenie mocy lasera i uzyskiwanie znakomitej analizy otoczenia w promieniu kilkudziesięciu metrów.

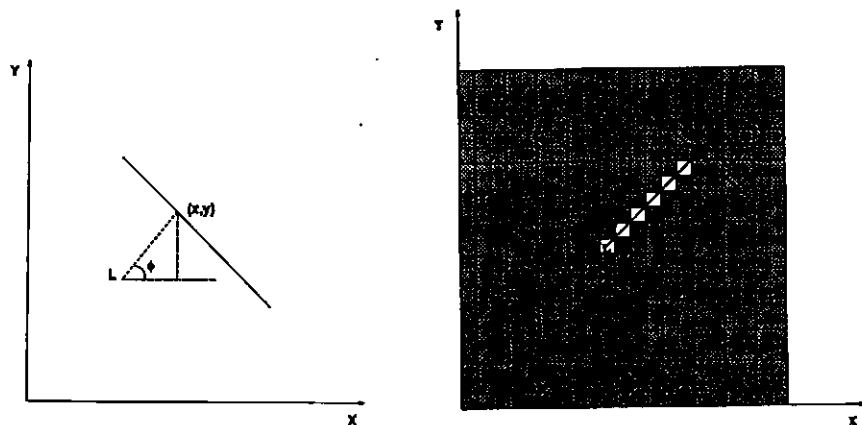
LITERATURA

- [1] B. Siemiątkowska: Zastosowanie neuronowych sieci komórkowych w nawigacji, Konferencja „Automation”, Warszawa, maj 1997.
- [2] J. Dunaj, M. Petz, R. Sawwa: “The investigation of the Laser Range Finder application for the mobile robot navigation and remarks on the potential use of LRF in the industry”. Paper at Conference: “Robotics in Theory and Practice”, Prešov, Slovakia, September, 1995.
- [3] J. Racz, B. Siemiątkowska, R. Sawwa, M. Petz: “Building 2D local maps based on laser readouts”. Paper at Conference: “Methods and Models in Automation and Robotics”. Międzyzdroje, Poland, September 1996.
- [4] M. Petz, R. Sawwa. „Zastosowanie laserowego czujnika odległości do tworzenia map otoczenia”. V Krajowa Konferencja Robotyki. Swieradów Zdrój, 1996.
- [5] A. Dubrawski, R. Sawwa. „Laserowe trójwymiarowe czujniki odległości w nawigacji ruchomych robotów”. V Krajowa Konferencja Robotyki. Swieradów Zdrój, 1996.
- [6] R. Sawwa, Z. Pilat, M. Petz. „O rozwoju robotyki i robotyzacji”. V Krajowa Konferencja Robotyki. Swieradów Zdrój, 1996.
- [7] R. Sawwa. „Results Obtained by PIAP in European Project Teleman - Impact - Peco”. PIAP Biuletyn, No. 4/1996.

Schemat systemu nawigacji

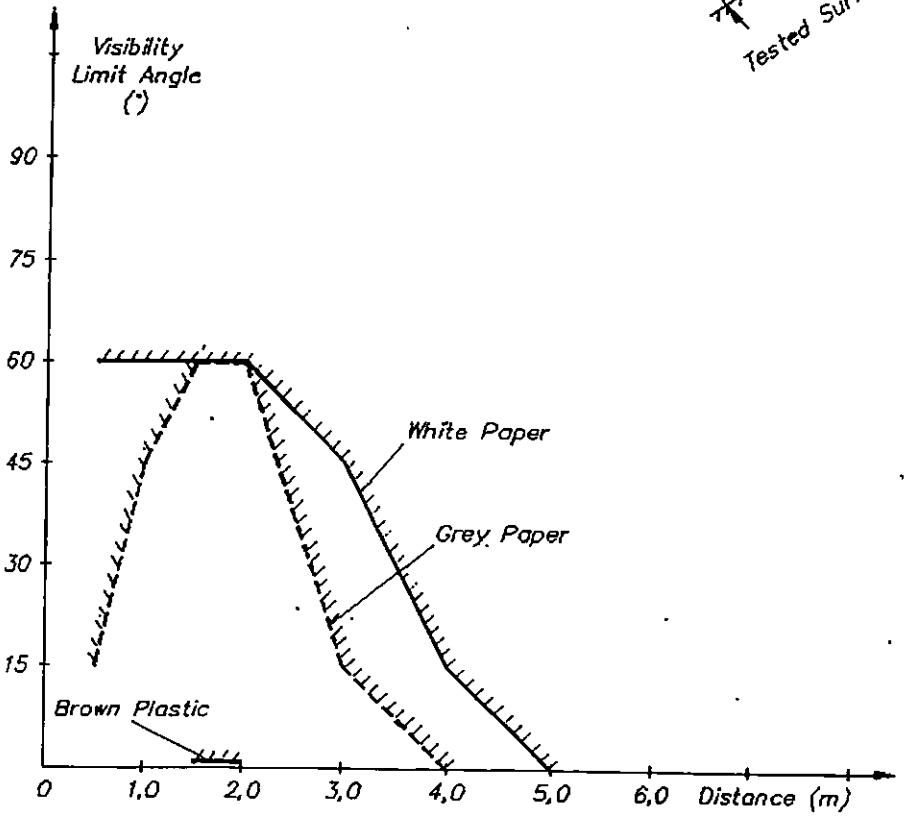
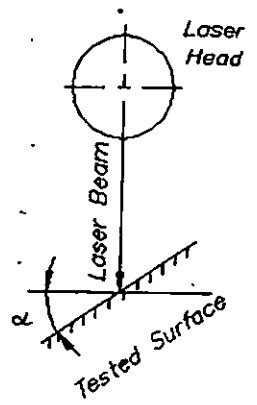


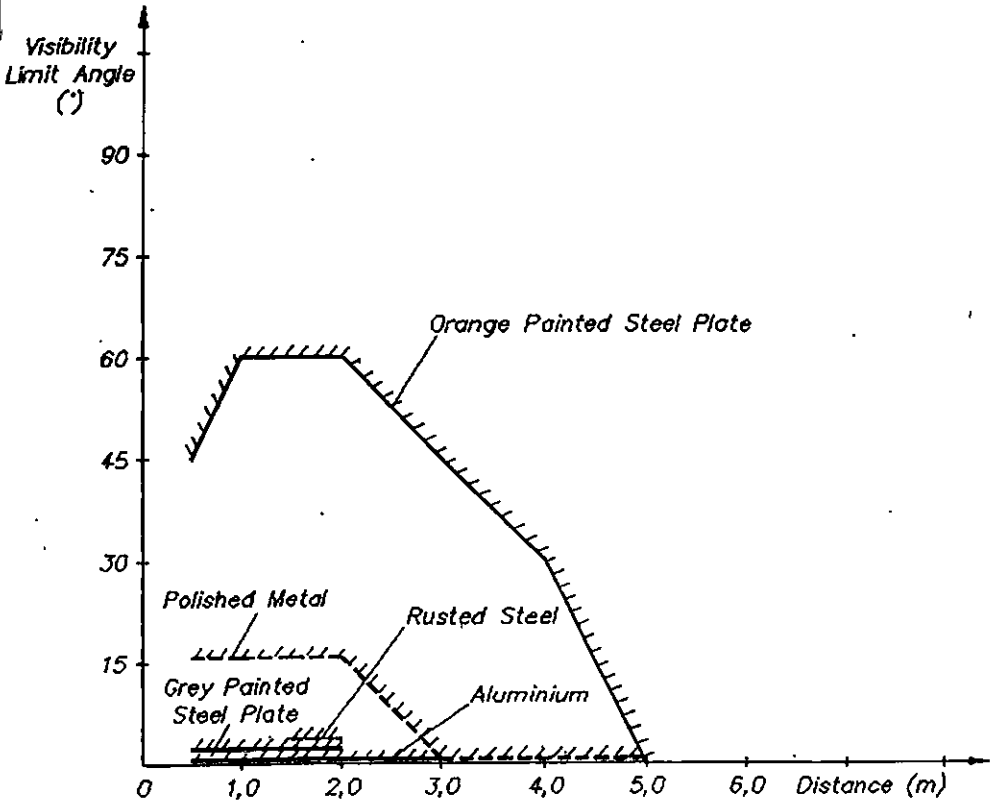
Rysunek 1: *Ogólny schemat systemu*



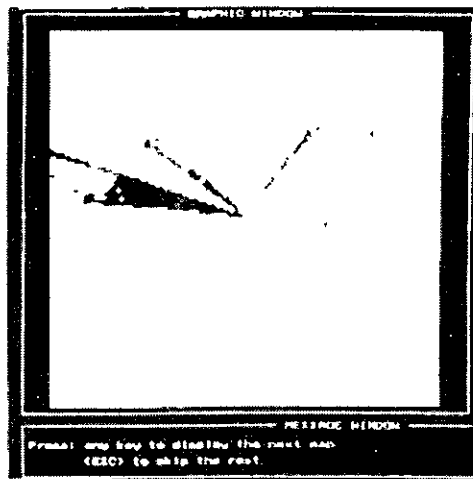
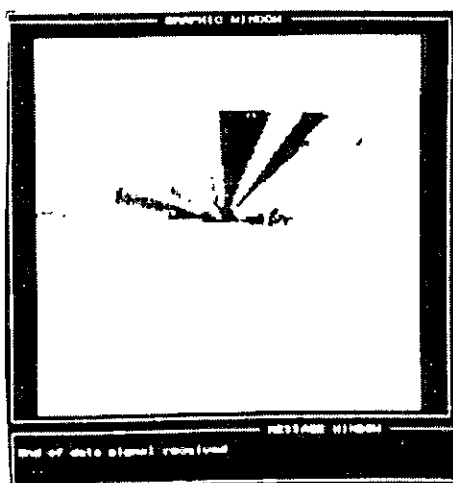
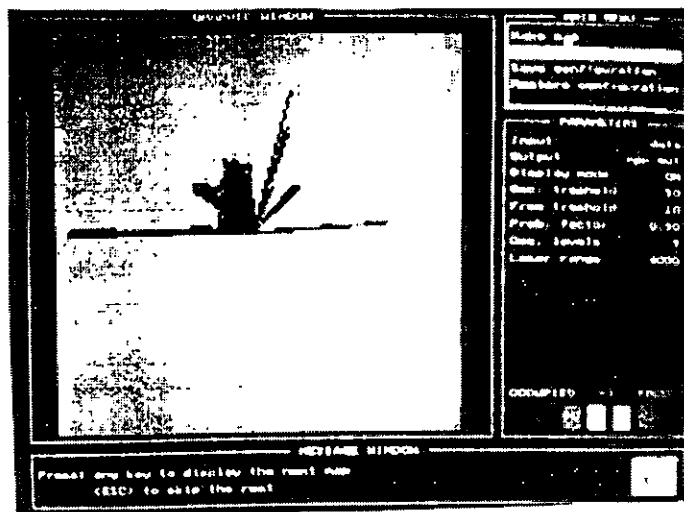
Rysunek 2: *Określanie współrzędnych klatki zajętej przez przeszkodę*

Rysunek 3: *Wykrywanie przeszkód przy pomocy laserowego czujnika odległości*

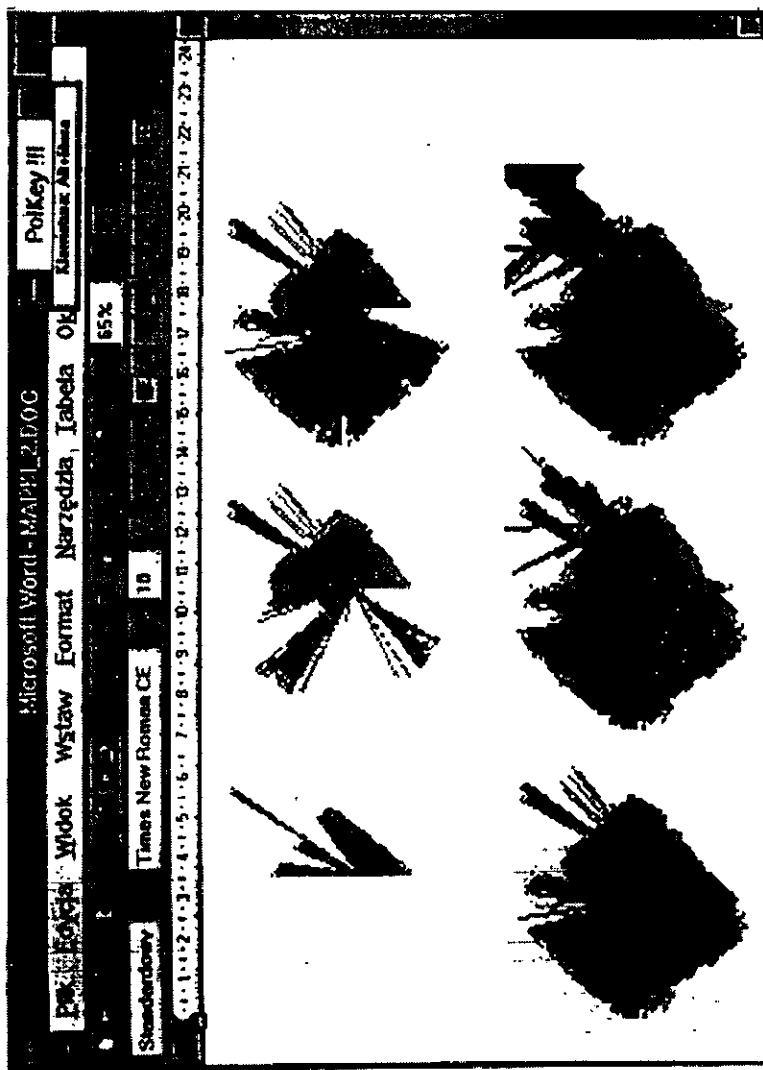




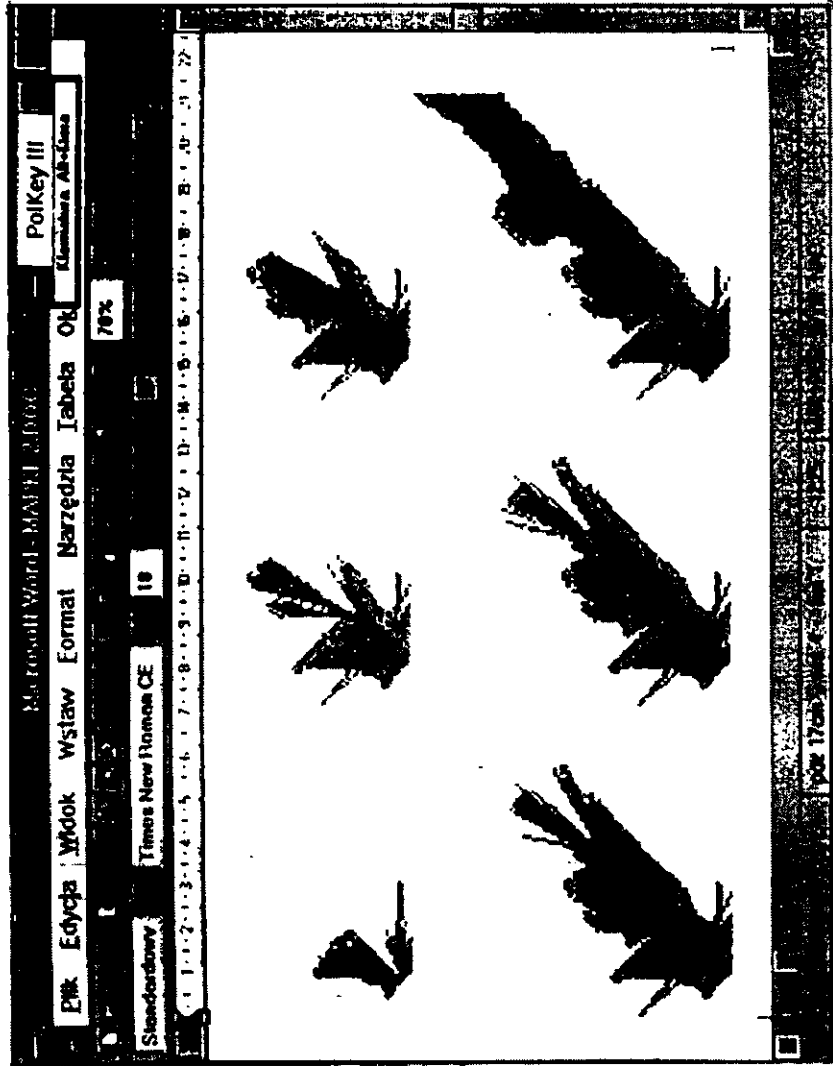
ENVIRONMENT 2D LOCAL MAPS


 2D RANGE MAPS OBTAINED FROM A SCANNING LASER RANGE
 FINDER

ENVIRONMENT 2D COMPOSITE MAPS BUILDING PROCESS



SEQUENCE OF CONSOLIDATED 2D RANGE MAPS OBTAINED FROM A SCANNING LASER RANGE FINDER CARRIED BY A MOBILE ROBOT



SEQUENCE OF CONSOLIDATED 2D RANGE MAPS OBTAINED FROM A SCANNING LASER RANGE FINDER
CARRIED BY A MORPHO BOT