

Józef GIERGIEL, Mariusz GIERGIEL, Piotr MAŁKA
 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA ROBOTYKI I MECHATRONIKI

Metody nawigacji minirobotów kołowych na przykładzie minirobota kołowego m.r.k.

Prof. zw. dr hab. inż. Józef GIERGIEL

Jest profesorem Politechniki Rzeszowskiej, emerytowanym profesorem AGH. Głównymi zainteresowaniami są szeroko rozumiana Mechanika Stosowna, Robotyka i Mechatronika.



e-mail: j.giergiel@chello.pl

Dr hab. inż. Mariusz GIERGIEL

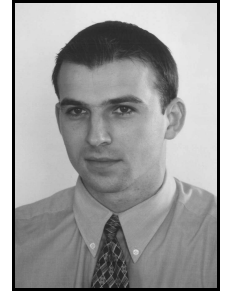
Jest profesorem nadzwyczajnym AGH. Jego główne zainteresowania to komputerowe wspomaganie prac inżynierskich, zastosowanie mechatronicznego podejścia w projektowaniu, budowa i programowanie mikro robotów.



e-mail: giergiel@agh.edu.pl

Mgr inż. Piotr MAŁKA

Jest doktorantem w Katedrze Robotyki i Mechatroniki AGH. Jego główne zainteresowania to wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w robotyce i mechatronice. Skonstruował minirobota mobilnego, który wykorzystywany jest do badań symulacyjnych.



e-mail: malka@agh.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z nawigacją robotów mobilnych. Analizę metod dokonano na przykładzie minirobota mobilnego m.r.k własnej konstrukcji. Omówione zostały również nowoczesne metody wykorzystujące nawigację GPS.

Słowa kluczowe: sensor, nawigacja, minirobot, GPS, mikrokontroler, układ sterowania, lokalizacja.

M.R.K. wheel minirobot as an example of wheel minirobots navigation methods

Abstract

The article demonstrate problem with navigation mobile robot. The analysis of methods was executed on example mobile minirobot M.R.K. The article presents also new method navigations and localizations build on Global Positioning System GPS.

Keywords: sensor, navigations, minirobot, GPS, microcontroller, steering, localization.

1. Wstęp

Nawigacja robotów szczególnie robotów mobilnych wymaga poznania pełnej analizy i metod sterowania robotami w szczególności z wykorzystaniem nowoczesnych instrumentów wspomagających nawigację i pozycjonowanie.

Nawigacja (łac. navigatio - żegluga; navis - statek) to nauka traktująca o prowadzeniu statku wodnego lub latającego, metod określania jego pozycji i wyboru kursu [1, 5, 6].

Mimo że nazwa odnosiła się pierwotnie do okrętów, odnosi się obecnie także do obiektów latających i pojazdów mechanicznych a w szczególności robotów mobilnych. Elementami składowymi nawigacji robotów są:

- tworzenie mapy,
- samolokalizacja,
- wyznaczanie trajektorii.

Elementy te są od siebie niezależne, ale wykonanie zadania zależy od prawidłowego wykonania każdego z nich.

Nowoczesna technologia, która obecnie w bardzo szybkim tempie jest rozwijana umożliwiła bardzo dokładne a zarazem obrazowe przedstawienie wyników uzyskanych z poszczególnych sensorów, zaliczyć możemy tutaj inteligentne przetworniki pomiarowe: odległości, fizykochemiczne środowiska oraz obiektu, systemy nawigacji satelitarnej GPS, systemy wizyjne itp. Konieczne staje się również przedstawienie stosowanych obecnie czujników pomiarowych oraz systemów lokalizująco-nawigacyjnych. Poniżej przedstawiono takie zestawienie prezentujące zakres stosowanych sensorów oraz wszelkiego rodzaju systemów wykorzystywanych przy sterowaniu robotów oraz pojazdów w tym robotów mobilnych. Niniejsza praca przedstawia również techniki stosowane w nawigacji jak również sensory wykorzystywane w jej realizacji.

2. Sensory wykorzystywane w nawigacji robotów

W literaturze występują dwa określenia na to samo urządzenie [2, 3, 4, 5, 6]. Sensor jest to angielskie określenie, którego odpowiednikiem w języku polskim jest czujnik. Bardzo często w robotyce używa się tego angielskiego określenia. Jest wiele definicji określających czujnik (sensor) – w zależności gdzie jest on wykorzystywany.

Do celów robotyki:

Sensory – elementy wyposażenia robota pozwalające na śledzenie zmian zachodzących w jego środowisku i w nim samym.

Definicja stosowana do opisu ogólnego:

Czujnik – precyzyjny przyrząd pomiarowy, którego działanie oparte jest na wykorzystaniu przekładni wzmacniającej. Wzmocnienie impulsu wejściowego pozwala na dokładny odczyt minimalnych zmian wielkości mierzonych parametrów. W niektórych czujnikach przetwarza się przebieg mierzonych wielkości fizycznej na przebieg innej, dogodniejszej do pomiaru. Ze względu na niewielki zakres pomiarowy czujniki stosuje się najczęściej do pomiarów metodą różnicową.

W robotyce jak również w innych gałęziach techniki często spotyka się coraz to bardziej wyrafinowane metody pomiarowe wykorzystujące wszelkiego rodzaju sensory. Prostą klasyfikację czujników stosowanych w robotyce przedstawić można w następujący sposób:

o Pasywne / Aktywne

- Pochłaniają energię istniejącą w otoczeniu
- Emitują energię w celu dokonania obserwacji

- **Względne / Absolutne**
 - Odległość do przeszkody
 - Długość i szerokość geograficzna
 - Dotykowe / Zdalne
- **Wewnętrzne (proprioceptive): położenie złączy, obrót kół, naładowanie akumulatora**
- **Zewnętrzne (exteroceptive): kształt i kolor przedmiotów, zapach, globalne położenie robota**
- **Zewnętrzne w odniesieniu do robota (expriopriocitive): położenie obiektów względem robota**

Aktywne oddziaływanie robota na otoczenie opiera się na informacji o stanie środowiska i cechach poszczególnych obiektów znajdujących się w przestrzeni pracy robota, a także informacji o stanie samego robota i jego mechanizmów wykonawczych. Do prawidłowego funkcjonowania robota wymagana jest znajomość różnego rodzaju informacji: o cechach mechanicznych i fizykochemicznych środowiska oraz poszczególnych obiektów, o ich położeniu i orientacji w przestrzeni, o pozycji i orientacji samego robota, a także jego organów wykonawczych, o siłach i prędkościach rozwijanych przez człony robota. Informacje te są potrzebne do sterowania robotem z zastosowaniem sprzężeń zwrotnych, a można je uzyskać za pomocą czujników lub sensorów inteligentnych (współpracujących z komputerem).

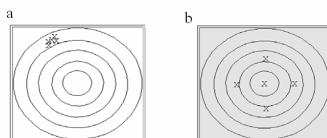
Kolejnym podziałem, jaki można zaproponować opisującym sensory to podział ze względu na parametry i tak:

- **Zakres względny** – relacja między największą a najmniejszą wielkością wejściową (np. wartość podana w dB),
- **Rozdzielczość** – najmniejsza wykrywalna różnica między dwoma pomiarami,
- **Liniowość** – zależność sygnału wyjściowego od zmienności sygnału mierzonego,
- **Pasma pomiarowe** – częstość, z jaką czujnik może dostarczać pomiarów (zależy od częstości próbkowania, szybkości przetwarzania i przesyłu informacji),
- **Obszar widzenia** – może być różny w różnych kierunkach działania czujnika,
- **Zakres,**
- **Czułość** – relacja pomiędzy zmianą wielkości wyjściowej i wielkości mierzonej (często redukowana przez czynniki środowiska),
- **Wrażliwość** – czułość na inne parametry środowiska,
- $Błąd = \frac{\text{wartość prawdziwa}}{\text{wartość zmierzona}}$
- $Dokładność = 1 - \frac{\text{błąd}}{\text{wartość prawdziwa}}$; często trudno jest

określić wartość prawdziwą i wówczas dokładność jest szacowana na podstawie błędów systematycznych (np. związanych z kalibracją) i błędów losowych (szum czujnika)

- $Precyzja = \frac{\text{zakres}}{\text{odchylenie sta. błędów losowych}}$; powtarzalność wyników pomiarów.

Różnice pomiędzy dokładnością a precyzją przedstawia poniższy rysunek:



Rys. 1. a) Sensor precyzyjny, b) Sensor dokładny
Fig. 1. a) Precise sensor b) Accurate sensor

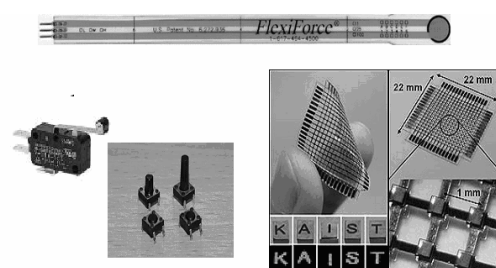
Zastosowanie sensorów szczególnie w robotyce niesie za sobą powiązanie, integrację stosowanych pomiarów, tak by stworzyć nadmiarowość czy to uzupełnienie możliwości pomiarowych. Dla udowodnienia powyższego stwierdzenia należy porównać robota do człowieka, gdzie to jeden organ np. zmysł dotyku koreluje ze słuchem czy to wzrokiem. Fuzja i integracja tych sensorów po-

zwala na dokładniejsze poznanie otaczającej nas przestrzeni. Celowe staje się stosowanie w robotyce powiązania i redundancji stosowanych metod pomiarowych. Przykładowo pomiar obarczony szumem (brak możliwości filtracji), ograniczona dokładność, niepewność działania sensora jak również możliwość powstania awarii, niższa cena w stosunku do sensora specjalizowanego to wszystko powoduje, iż stosowanie niejednokrotnie staje się koniecznością.

2.1. Przykłady sensorów stosowanych w robotyce

▪ Czujniki dotyku

Najbardziej rozpowszechnione i najczęściej stosowane w robotyce sensory. Budowa tego typu czujników oparta jest o różnego rodzaju czułki, zderzaki, materiały wrażliwe na dotyk itp., gdzie kontakt mechaniczny powoduje: zamykanie/otwieranie włącznika, zmianę rezystancji, zmianę pojemności, zmianę napięcia.



Rys. 2. Miernik siły, mikrowłącznik, miernik napięcia
Fig. 2. Power meter, microswitch, stress meter

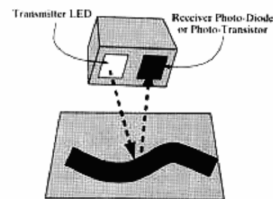
▪ Czujniki zbliżeniowe

Kolejna grupą sensorów najczęściej stosowanych w robotyce oraz w rozwiązaniach przemysłowych są przetworniki zbliżeniowe wykorzystujące informację na podstawie światła odbitego jak również wykorzystujące modulację i demodulację sygnału świetlnego.

Odbiciowe IR

Dioda emitująca IR LED + detektor fotodiody/fototranzystor. Światło odbija się od przeszkody i trafia do detektora. W przypadku tej metody istotna jest zmiana w oświetleniu i rodzaju powierzchni.

Aplikacje: Wykrywanie przeszkód, Śledzenie linii, ścian, Element składowy enkodera

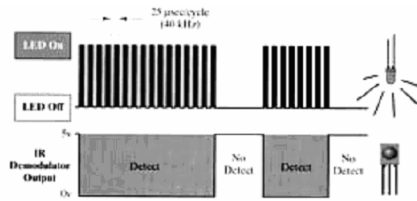


Rys. 3. Zasada działania sensora IR – odbicie światła padającego
Fig. 3. Principle of IR sensor operation - falling light reflection

IR z modulacją

Zasada działania opiera się na modulacji i demodulacji sygnału świetlnego. Dioda emituje impulsy świetlne (32kHz–45kHz) zaś demodulator jest wrażliwy na tę częstotliwość.

Czułość w tym przypadku jest znacząca, ponieważ błyski (nawet słabe) są łatwiejsze do wykrycia, dodatkowo sensory te posiadają mniejszą wrażliwość na oświetlenie otoczenia oraz rodzaj powierzchni.



Rys. 4. Zasada działania sensora IR – modulacja i demodulacja światła
 Fig. 4. Principle of IR sensor operation - light modulation and demodulation

▪ **Pomiar przemieszczeń oraz prędkości kątowych**

Do sterowania elementarnymi wykonawczymi roboty wymagana jest znajomość parametrów stanu robota, do których należą położenie i prędkość elementów wykonawczych. W chwili obecnej najczęściej spotyka się różnego rodzaju enkodery optyczne (obrotowo-impulsowe oraz obrotowo-kodowe), potencjometry oraz rezolwery.

Enkodery optyczne

Zasada działania enkoderów optycznych jest niezmiernie prosta - na wale silnika, lub osi, której kąt, lub prędkość kątową chcemy badać umieszczamy dysk z odpowiednimi otworami. Następnie z jednej strony dysku umieszczamy diodę emitującą wiązkę podczerwieni, z drugiej fototranzystor wykrywający promieniowanie podczerwone. Obracająca się tarcza przesłania wiązkę powodując, że fototranzystor odbiera ciąg impulsów o częstotliwości zależnej od prędkości kątowej wału, na którym dysk jest umieszczony, a ilość tych impulsów mówi nam o kącie wychylenia tegoż wału.

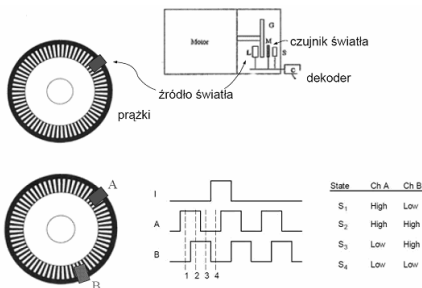


Rys. 5. Zasada działania enkodera optycznego
 Fig. 5. Principle of optical encoder operation

Rozróżnia się dwa podstawowe typy enkoderów optycznych: impulsowe i kodowe.

Przetworniki obrotowo-impulsowe

Przeznaczone są do pomiaru przemieszczeń kątowych, a więc zarówno do pomiaru kąta jak i prędkości kątowej.

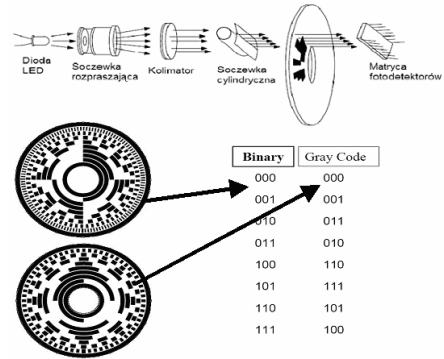


Rys. 6. Budowa i zasada działania przetwornika obrotowo-impulsowego
 Fig. 6. Construction and principle of rotary - impulse converter operation

Z pomocą napędu paskowego, zębki lub koła ciernego mogą być mierzone z ich pomocą również przemieszczenia liniowe. Przetworniki te pozwalają na określenie pozycji względnej przez zliczanie impulsów. Charakterystyczną cechą tych urządzeń jest stała, niezmienna ilość impulsów na jeden obrót, odpowiadająca rozdzielczości systemu pomiarowego.

Przetworniki obrotowo-kodowe

Zasada działania tych impulsatorów opiera się na przyporządkowaniu odpowiednim wartościom kąta, kodowanych wartości liczbowych. Na wałku napędowym enkodera znajduje się tarcza kodowa, która zawiera w formie kodu wartości liczbowe odpowiadające przesunięciom kątowym. Pozwala to na zadawanie wartości absolutnych w dowolnym momencie, bez konieczności porównywania z punktem odniesienia. Enkoder kodowy pozwala określić dokładną informację o pozycji po ponownym uruchomieniu, gdy zanikło napięcie zasilania systemu lub enkodera. Jeżeli po zaniku zasilania miał miejsce jakikolwiek ruch mechaniczny, faktyczna pozycja mechaniczna jest odczytana natychmiast po odzyskaniu zasilania.

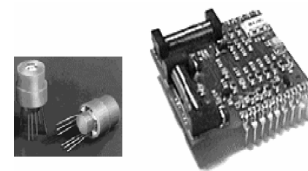


Rys. 7. Budowa i zasada działania przetwornika obrotowo-kodowego
 Fig. 7. Construction and principle of rotary - code converter operation

▪ **Czujniki wykorzystywane do zlokalizowania orientacji robota**

Kompas

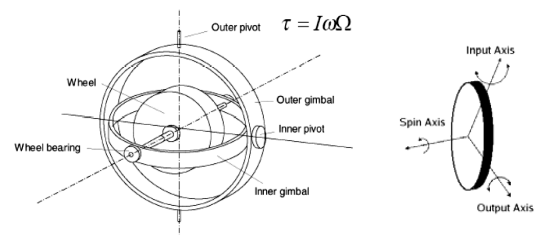
Jest to najbardziej znany oraz najstarszy sensor, znany już 2000 p.n.e. Korzysta z pola magnetycznego Ziemi i wykorzystuje się go głównie do absolutnego wyznaczenia orientacji poprzez pomiar mechaniczny oraz bezpośrednio przez pomiar pola wykorzystując efekt Halla czy to przez czujniki magnetorezystywne



Rys. 8. Przykłady kompasów w wykonaniu elektronicznym
 Fig. 8. Examples of compasses done electronically

Żyroskop

Jest to sensor wykorzystuje właściwości inercyjne szybko obracającego się wirnika. Moment reakcji τ jest proporcjonalny do prędkości obrotowej ω , szybkości precesji Ω i bezwładności rotora I. Trzy wektory są wzajemnie prostopadłe.



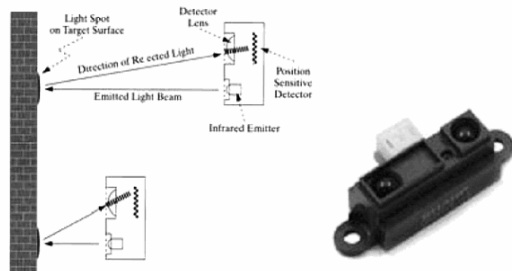
Rys. 9. Budowa oraz zasada działania żyroskopu
 Fig. 9. Construction and principle of gyroscope operation

▪ Sensory do pomiar odległości - dalmierze

Czujniki odległości IR (Infrared)

Dalmierze IR charakteryzują się niewielkimi gabarytami i niewielkim poborem mocy. Ich wadą jest to, że jakość pomiaru zależy od koloru przeszkody i oświetlenia w pomieszczeniu.

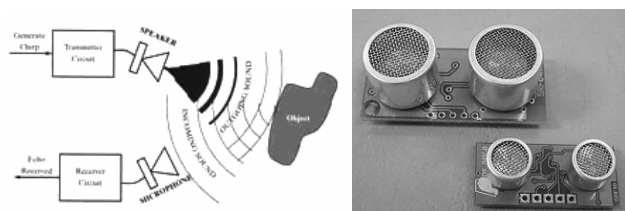
Na rynku dostępne są gotowe dalmierze wykorzystujące promieniowanie podczerwone.



Rys. 10. Sensor IR
Fig. 10. IR sensor

Czujniki ultradźwiękowe - sonary

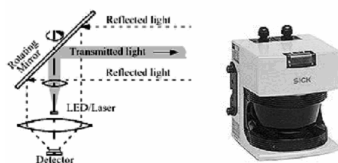
Działanie czujników ultradźwiękowych oparta jest o pomiar czasu odbicia echa fali ultradźwiękowej. Zakresy pomiarowe występujące w tego typu czujnikach mieści się od kilku cm do 30 m.



Rys. 11. Sensor ultradźwiękowy
Fig. 11. Ultrasound sensor

Skaner laserowy

Skanery laserowe należą do grupy czujników pozwalających na pomiar odległości od przeszkód oraz rozmieszczenie w systemie 3D punktów charakterystycznych penetrowanego terenu. Poniżej przedstawiony został jeden z przykładów tego typu urządzeń.



Rys. 12. Zasada działania oraz przykład skanera laserowego
Fig. 12. Laser scanner example and its principle of operation

Systemy wizyjne - kamery

Jest to najbardziej rozbudowany i dający najwięcej pod względem informacji, ale i najbardziej skomplikowany system. Umożliwia on:

- pomiar odległości,
- głębie z ostrości,
- stereowizję,
- wykrywanie krawędzi i przedmiotów,
- wykrywanie i określanie ruchu
- śledzenie przedmiotów
- rekonstrukcje sceny i interpretacja

Kamery stosowane do systemów wizyjnych podzielić możemy na dwie grupy: CCD (Light-sensitive) oraz CMOS (complementary metal oxide semiconductor).

- CCD (light-sensitive, discharging capacitors of 5 to 25 micron)



- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor technology)



Rys. 13. Kamery stosowane w systemach wizyjnych
Fig. 13. Cameras used in vision systems

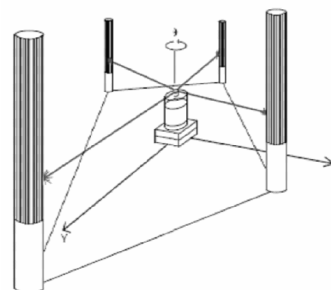
2.2. Metody wykorzystywane w lokalizacji robotów mobilnych

• Metoda stałych znaczników

Najstarsza i najbardziej rozpowszechniona metoda lokalizacji robotów w przestrzeni. Do jednoznacznego określenia położenia wymagane jest podanie znanych znaczników pasywnych lub aktywnych usytuowanych w znanej pozycji zarówno naturalnej jak i sztucznej. Do znaczników naturalnych zaliczyć można np. gwiazdy, góry słońce itp. Natomiast do sztucznych wszelkiego rodzaju obiekty powstałe na skutek działania człowieka np. latarnie morskie, maszty nadawcze, budynki, ściany, elementy wyposażenia pomieszczeń itp.

Sztuczne znaczniki umożliwiają lokalizację robota w znanym otoczeniu. Znając rozmieszczenie obiektów charakterystycznych w zasięgu, można określić współrzędne robota w układzie współrzędnych.

Metoda ta jest ograniczona przez niedostateczną elastyczność i adoptowalność do zmian zachodzących w przestrzeni roboczej.

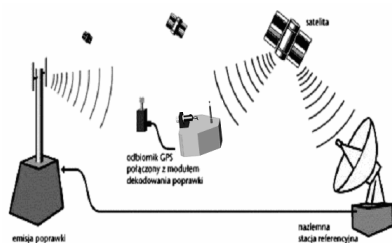


Rys. 14. Zasada funkcjonowania metody stałych znaczników
Fig. 14. Principle of permanent markers method operation

• Lokalizacja GPS - Global Positioning System

Rozwój systemów lokalizacji stosowany w technologii wojskowej coraz częściej przenosi się do technologii cywilnej i dlatego też możliwe jest wykorzystanie ich do celów badawczych nad nawigacją i pozycjonowaniem pojazdów mechanicznych a w szczególności robotami mobilnymi.

GPS, czyli Globalny System Pozycjonowania (Global Positioning System) jest systemem satelitarnym zapewniającym precyzyjne wyznaczanie pozycji, prędkości i czasu. Dwadzieścia cztery satelity NAVSTAR obiegające Ziemię zapewniają nieprzerwaną dostawę sygnału radiowego, który po odebraniu przez specjalny odbiornik umożliwia wyliczenie bieżącej pozycji. Sygnał ten jest dostępny na całym globie, korzystanie z niego jest bezpłatne. Dokładność pomiaru waha się od centymetra (odbiorniki geodezyjne, pomiar różnicowy - Differential GPS) do stu metrów (proste odbiorniki nawigacyjne bez korekcji różnicowej). Satelity obiegają Ziemię dwa razy dziennie i rozmieszczone na sześciu orbitach na wysokości około 20 000 km nad Ziemią [4].



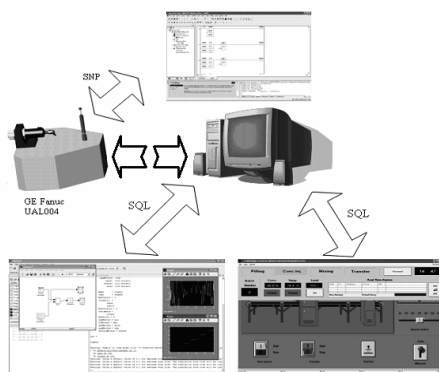
Rys. 15. System sterowania m.r.k z wykorzystaniem lokalizacji GPS
Fig. 15. M.R.K. control system with GPS location system

3. System wizualacyjny stosowany do nawigacji minirobota mobilnego m.r.k.

Nawigacja parametrów ruchu minirobota kołowego możliwa jest dzięki połączeniu programu typu SCADA [3, 4], Matlaba/Simulinka oraz bazy danych SQL.

Obecnie na rynku oferowanych jest wiele systemów typu SCADA do najbardziej popularnych należą: *iFIX*, *WIZCON*, *InTouch*. W niniejszej pracy do sterowania (nawigacji i lokalizacji) wybrano program *InTouch* firmy *Wonderware*, *Matlab/Simulink* firmy *MathWorks* oraz *SQL* firmy *Microsoft*.

Schemat działania systemu pokazany został na poniższym rysunku:



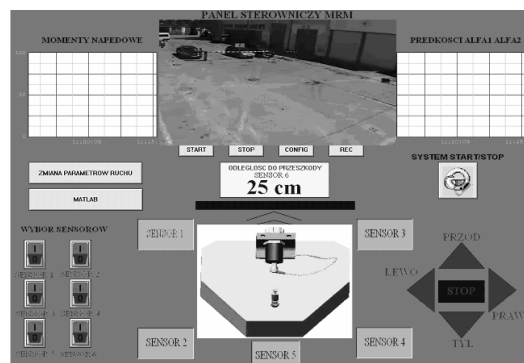
Rys. 16. Układ realizujący sterowanie m.r.k
Fig. 16. M.R.K. control system

Sterowanie minirobotem kołowym realizowane jest za pomocą sterownika GE Fanuc oraz systemu weryfikująco-parametryzującego. Sterownik realizuje program zapisany w jego pamięci oraz przekazuje wszystkie najważniejsze informacje do jednostki nadrzędnej. Mikrokontroler PLC programowany jest pakietem PROFICY ME, wykorzystującego język wysokiego poziomu typu LADER. Programowanie takie stwarza szereg dodatkowych możliwości zarówno wizualnych jak i diagnostycznych. Modyfikacja tak napisanego programu jest stosunkowo prosta i zarazem daje możliwość integracji z innymi urządzeniami zewnętrznymi, jakimi są programy wizualizacyjne.

Pakiet MATLAB wykorzystywany jest tutaj, jako system wspomagający oraz sterujący. Połączenie tego programu ze sterownikiem ujawniło szereg przydatnych niewykorzystywanych dotychczas możliwości sterowania robotami. Między innymi jest to zmiana niektórych parametrów ruchu w trakcie realizowania odpowiedniego algorytmu. W rozważanym przypadku odbywa się to poprzez pakiet MATLAB/SIMULINK, który dzięki szerokim możliwościom wykorzystania metod sztucznej inteligencji weryfikuje i optymalizuje wybrane parametry ruchu, następnie przekazuje je do sterownika.

Komunikacja zewnętrzna wykorzystywana w sterowaniu oparta jest na radiomodemowej sieci bezprzewodowej, a w przypadku wewnętrznej (system SCADA – MATLAB) dzięki bazie danych SQL lub też w trybie wewnętrznej wymiany danych systemu WINDOWS – DDE.

System SCADA w powyższym sterowaniu minirobotem mobilnym odgrywa rolę panelu operatorskiego, dzięki któremu mamy możliwość *on-line* nawigacji i lokalizacji zachowań minirobota z wykorzystaniem systemu wizyjnego jak również weryfikacji wszystkich parametrów ruchu: momentów napędowych, prędkości oraz przemieszczeń kątowych na poszczególnych kołach jezdnych, prędkości chwilowej oraz przemieszczenia ramy minirobota. Dodatkowo system pokazuje stan wszystkich sensorów zainstalowanych na pokładzie *m.r.k* czy to formie stanu czy też wartości rzeczywistej np. odległość od przeszkody.



Rys. 17. Schemat układu sterowania i nawigacji m.r.k wykonany w programie InTouch
Fig. 17. M.R.K. control and navigation system scheme done in In Touch programme

4. Wnioski

Niniejsza praca prezentuje zagadnienia związane ze sterowaniem i nawigacją mobilnymi robotami kołowymi. Przedstawione zostały podstawowe metody nawigacji oraz sensory wykorzystywane do realizacji tego zadania. Dodatkowo omówione zostały systemy służące do lokalizacji robotów mobilnych między innymi metoda stałych znaczników, najczęściej wykorzystywana oraz metoda GPS. Metoda GPS zaimplementowana została w minirobotcie mobilnym *m.r.k* i przedstawiona na rysunku 15.

Minirobot mobilny wykonany został do celów badawczych, dlatego też w punkcie 3 omówiony został system służący do jego sterowania, nawigacji i lokalizacji. Przy pomocy zbudowanego systemu wizualizacyjnego (rys. 17) mamy możliwość pełnej kontroli na zachowaniem się robota w przestrzeni roboczej, dzięki czemu sterowanie jest proste i zarazem efektywne.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego Nr 4 T07A 030 29.

5. Literatura

- [1] Giergiel M., Hendzel Z, Żylski W., Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów kołowych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002 r.
- [2] Giergiel M., Małka P., Wybrane zagadnienia pozycjonowania kołowego minirobota mobilnego, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 05.2005, s. 28-30.
- [3] Giergiel M., Małka P.: Zastosowanie systemów SCADA oraz bazy danych w sterowaniu minirobota kołowego, *Zeszyty Naukowe PRZ – Mechanika* z.65, 2005, s. 125-132.
- [4] Giergiel J., Giergiel M., Małka P.: Mechatronics of wheel minirobot m.r.k, *Mechanics and Mechanical Engineering*, Łódź 2006, s. 40-55
- [5] Duleba I.: Metody i algorytmy planowania ruchu robotów mobilnych i manipulacyjnych, *Akademia Oficyna Wydawnicza EXIT*, Warszawa 2001
- [6] Borenstein J., Everett H. R., and Feng L.: *Navigating Mobile Robots: Sensors and Techniques*, A. K. Peters, Ltd., Wellesley, 1996 r.