



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

ROBOTY MOBILNE

Workbook

Autor: Jarosław Zubrzycki

Lublin, 2021 rok

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

Spis treści

1. Wprowadzenie	3
2. Ważniejsze daty z historii robotyki (1921-2006).....	6
3. Robot mobilny	8
4. Roboty mobilne – podział i klasyfikacja	13
4.1. Roboty kołowe	14
4.2. Roboty na podwoziu gąsienicowym	18
4.3. Roboty kroczące	19
5. Podsystem napędu robota mobilnego	25
5.1. Silnik prądu stałego	25
5.2. Silnik krokowy	29
5.2.1. Silnik krokowy z pasywnym wirnikiem	30
5.2.2. Hybrydowy silnik krokowy	31
6. Podsystem sensoryczny robota mobilnego	35
6.1. Sensory wewnętrzne.....	37
6.1.1. Czujniki obrotu	37
6.2. Czujniki zewnętrzne.....	42
6.2.1. Czujnik dotykowy.....	42
6.2.2. Sonary	43
7. Podsystem sterowania robota mobilnego.....	46
7.1. System sterowania z komputerem PC	46
8. Nawigowanie robota mobilnego	49
8.1. Globalne systemy nawigacji.....	49
8.2. Nawigacja względna	50
8.3. Nawigacja absolutna	54
9. Podsumowanie	56

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

1. Wprowadzenie

Czym jest robot? Najogólniej rzecz ujmując jest aktywny, sztuczny agent działający w rzeczywistym (nie symulacyjnym) środowisku. Jest to także urządzenie techniczne, zastępujące człowieka przy wykonywaniu określonych czynności manipulacyjnych, przystosowane do realizacji różnych programów ruchu manipulacyjno-transportowego, użytecznego w procesie produkcyjnym. Robot to także wielofunkcyjny, reprogramowalny manipulator przeznaczony do operowania przedmiotami, częściami narzędziami oraz innymi urządzeniami, mających na celu wykonanie różnorodnych zadań.

Sztuczne urządzenia naśladujące człowieka fascynowały ludzkość od wieków. Przykłady opisów humanoidalnych automatów można doszukiwać się w różnych utworach literackich. Na takie opisy można natknąć się np. w Biblii w księdze Ezechiela (rozdz. 37). Czy też w Iliadzie Homera, gdzie została opisana istota o trzech nogach i własnej nawigacji powołana do życia przez Hefajstosa. W literaturze kolejnych wieków, w przekazach ludowych pojawiały się autonomiczne, posiadające możliwości ruchowe miotły, posągi stworzone z gliny czy lalki posiadające własną autonomię.

Ale robotami zajmowali się także inni artyści. Wspaniały XV wiekowy malarz, rzeźbiarz, konstruktor Leonardo da Vinci w 1495 roku stworzył projekt humanoidalnego automatu, który wyglądem przypominał średniowiecznego germańskiego rycerza. Maszyna wg projektu miała być zasilana z zewnętrznego układu korbowego podłączonego do okolic stawów w kończynach dolnych i górnych, co pozwalałoby na poruszanie podobne do ruchów człowieka. Wiele na to wskazuje, że artyście nie udało się zbudować sprawnego technicznie robota, ale odnalezione w 1950 roku notatki pozwoliły na zbudowanie maszyny wg jego projektu. Robot wg szkiców Leonarda okazał się w pełni funkcjonalny (rys. 1).

Rozwój podstaw współczesnej robotyki też zawdzięczamy artystom. Pierwszym, który użył słowa „robot” we współczesnym znaczeniu, był Karel Čapek, czechosłowacki pisarz. W swoim dramacie scenicznym R.U.R. (Rossumovi Univerzální Roboti). Mimo iż pierwotnie odnosiło się ono do żywych istot – sztucznie produkowanej, uproszczonej wersji człowieka przeznaczonej do ciężkiej pracy przedstawił sztuczne żywe istoty, które tworzone przez człowieka z czasem uczą się przemocy i buntują się przeciwko swoim twórcom. Obecnie słowo to oznacza przede wszystkim urządzenia mechaniczne. Termin robot został jednak ukuty przez pisarza Josefa, brata Karela.

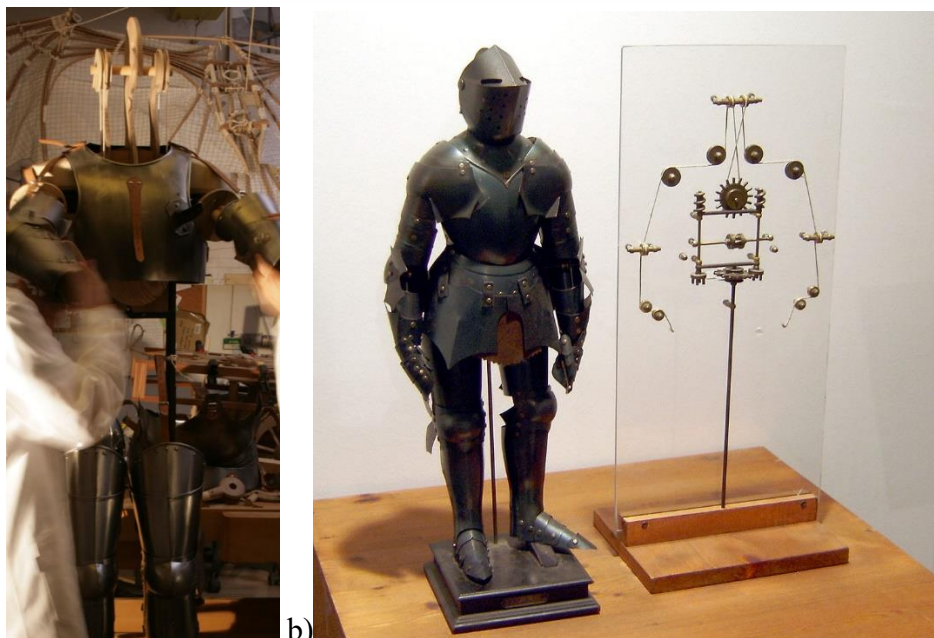
PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 1. Robot wg Leonarda da Vinci, a) współczesna rekonstrukcja, b) model robota Leonarda da Vinci z wewnętrznym mechanizmem

Temat robotów stał się jednym z głównych motywów literatury science fiction i pojawiał się w wielu dziełach dwudziestowiecznych pisarzy. Wraz z rozwojem telewizji również reżyserzy filmowi coraz częściej wykorzystywali mechaniczne istoty ożywione w swoich produkcjach, jednym z najsłynniejszych przykładów może być robot C-3P0 i R2-D2 z sagi Gwiezdne Wojny. Te na szczęście były przyjaźnie nastawione na człowieka zdecydowanie mu sprzyjały.

Kolejnym literatem, który zasłużył się światowej robotyce jest amerykański pisarz science-fiction Isaac Asimov. Jest on autorem terminu **robotyka**, którego użył w swoim opowiadaniu Zabawa w berka (Runaround, 1942). O ile sam termin jest bardzo istotny, to jednak jego największe zasługi na polu robotyki, to **Prawa robotyki Asimova**:

1. Robot nie może skrzywdzić człowieka, ani przez zaniechanie działania dopuścić, aby człowiek doznał krzywdy.
2. Robot musi być posłuszny rozkazom człowieka, chyba że stoją one w sprzeczności z Pierwszym Prawem.
3. Robot musi chronić sam siebie, jeśli tylko nie stoi to w sprzeczności z Pierwszym lub Drugim Prawem.



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



**Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej**

*Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin*

Następnie w opowiadaniu Roboty i Imperium (Robots and Empire) Asimov dodał prawo zerowe, które stało się nadrzędne wobec trzech pozostałych:

0. Robot nie może skrzywdzić ludzkości, lub poprzez zaniechanie działania doprowadzić do uszczerbku dla ludzkości.

Sama idea tworzenia sztucznych istot istnieje w ludzkiej kulturze od bardzo dawna, obecna jest na przykład w mitologii greckiej – w micie o Argonautach Jazon sieje smocze zęby, z których wyrastają wojownicy, natomiast mit o Pigmalionie mówi o Galatei, wyrzeźbionym przez niego posągu kobiety, która została ożywiona przez Afrodytę. Dziełem Hefajstosa, greckiego boga ognia i kowali, byli mechaniczni służący – od samodzielnie poruszającego się trójnogiego stołu, do zbudowanych ze złota inteligentnych istot o kobiecych kształtach. Spiżowy wielkolud Talos był wykonany przez Hefajstosa bądź Dedala.

Pierwsze automaty pojawiły się już w czasach starożytnych. Przyjaciel Platona, Archytas z Tarentu, 400 lat p.n.e. konstruował mechaniczne zabawki. Przekazy historyczne mówią o drewnianym gołębiu, który mógł latać.

O sztucznym człowieku mówi też średniowieczny hebrajski mit o Golemie – glinianym posągu ożywianym przez włożenie mu do ust karteczki z tetragramem. W średniowieczu konstruowano androidy, czyli ruchome figury o wyglądzie człowieka, wykonujące określone czynności, np. otwieranie i zamykanie drzwi, witanie gości. Najstarszym zachowanym projektem humanoidalnego robota jest datowany na rok 1495, wykonany przez Leonarda da Vinci zbiór rysunków mechanicznego rycerza, który mógł siadać, poruszać rękami oraz głową i szczęką.

Pierwszy działający robot powstał w 1738 roku. Był nim grający na flecie android, którego konstruktorem był Jacques de Vaucanson. Zbudował on też mechaniczną kaczkę, potrafiącą jeść i wydalać. Za najbardziej skomplikowany automat z tamtego okresu uważa się konstrukcję Jaqueta Droza w postaci dziewczynki grającej na klawikordzie. Lalka, poruszając ramionami, wybierała palcami właściwe klawisze i grała melodię przez pięć minut. Graną melodię określały dwa wymienne, kolczaste walce, podobne do stosowanych w popularnych w późniejszym okresie orchestrionach. Droz skonstruował także dwa inne niezwykle skomplikowane automaty: pisarza i będącego jego rozwinięciem rysownika. Programowanie pisarza polegało na układaniu na zębatym kole do czterdziestu kształtek, z których każda uruchamiała program rysowania właściwego znaku. Wszystkie trzy konstrukcje można podziwiać w działaniu w muzeum w Neuchâtel.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

2. Ważniejsze daty z historii robotyki (1921-2006)

- 1921 – Słowo „robot” stało się znane dzięki sztuce „R.U.R” Karelą Čapka.
- 1938 – Isaac Asimov umieszcza termin „robotyka” w noweli science-fiction i formułuje Trzy Prawa Robotyki.
- ? – Nikola Tesla konstruuje maszynę kroczącą, maszynę latającą i maszynę pływającą
- 1947 – Opracowanie pierwszego teleoperatora z serwonapędem elektrycznym.
- 1948 – Opracowanie teleoperatora ze sprzężeniem zwrotnym siły.
- 1949 – Rozpoczęcie badań nad obrabiarkami sterowanymi numerycznie.
- 1954 – Pierwszy patent dotyczący robotyki w Wielkiej Brytanii Nr. 781465 złożony 19 marca.
- 1954 – zaprojektowanie pierwszego programowalnego robota przez Georga Devola
- 1956 – Zakupienie praw do robota Devola i założenie firmy Unimation przez Josepha Engelbergera.
- 1958 – Pierwszy prototyp robota Unimate zainstalowany w fabryce General Motors.
- 1960 – Zespół sztucznej inteligencji w Stanfordzkim Instytucie Badawczym w Kalifornii i Uniwersytet w Edynburgu w Szkocji rozpoczynają pracę nad zastosowaniem wizji w robotach.
- 1961 – Pierwszy seryjny robot Unimate zainstalowany w fabryce General Motors w Trenton w stanie New Jersey.
- 1961 – Opracowanie pierwszego robota ze sprzężeniem zwrotnym siły.
- 1961 – Pierwszy patent dotyczący robotów w USA Nr 2.998.237 złożony przez G. C. Devola.
- 1963 – Opracowanie pierwszego systemu wizyjnego dla robota.
- 1963 – Wypuszczenie na rynek robota przemysłowego Versatran.
- 1964 – Pierwszy robot malarski Trallfa pracujący w fabryce w Norwegii.
- 1966 – Automatyczny lądowik księżycowy „Surveyor” ląduje na Księżycu.
- 1968 – Unimation otrzymuje z zakładów General Motors zamówienie na serie robotów.
- 1969 – W General Motors rozpoczęto montaż nadwozi Chevrolet Vega przy pomocy robotów Unimate.
- 1970 – General Motors staje się pierwszą firmą wykorzystującą systemy wizyjne w zastosowaniach przemysłowych. System Consight zostaje zainstalowany w zakładzie w St. Catharines, Ontario, Kanada.
- 1971 – opracowanie robota „Stanford Arm” na Uniwersytecie Stanford.
- 1972 – Na uniwersytecie Nottingham w Anglii stworzono „SIRCH”, układ zdolny do rozpoznawania dowolnie zorientowanych dwuwymiarowych części.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

- 1972 – Kawasaki instaluje zrobotyzowaną linię produkcyjną w zakładach Nissan z robotami firmy Unimation.
- 1972 – ASEA, część przedsiębiorstwa Vasteras ze Szwecji prezentuje roboty elektryczne IRb 6 i IRb 60 przeznaczone do automatycznych operacji szlifierskich.
- 1973 – Opracowanie pierwszego języka programowania robotów (WAVE) na Uniwersytecie Stanford.
- 1974 – Wprowadzenie przez firmę Cincinnati Milacron robota ze sterowaniem komputerowym.
- 1974 – Hitachi prezentuje robota Hi-T-Hand używającego czujników dotykowych i siłowych pozwalających na wkładanie sworzni do otworów.
- 1974 – Założenie Stowarzyszenia Robotyki Przemysłowej (Robotics Industries Association)
- 1976 – Trallfa robot malarski zostaje zaadaptowany do spawania kąowego.
- 1977 – założenie Brytyjskiego Stowarzyszenia Robotyki (British Robotics Association)
- 1978 – Wprowadzenie przez Unimation robota PUMA (Programmable Universal Assmebly), opracowanego na podstawie projektu powstałego w trakcie badań w fabryce General Motors.
- 1979 – Wprowadzenie robotów SCARA (Selective Compliance Robot Arm) w Japonii.
- 1982 – Robot Pedesco zostaje użyty do usunięcia skażonego materiału po wycieku paliwa radioaktywnego z elektrowni nuklearnej.
- 1984 – Zostaje opracowany PROWLER, pierwszy z serii robotów militarnych.
- 1986 – Rozpoczęcie prac nad robotem humanoidalnym przez firmę Honda.
- 1997 – Robot mobilny Sojourner ląduje na Marsie 4 lipca.
- 1998 – Skonstruowanie pierwszego bionicznego ramienia.
- 2004 – Prezentacja nowej generacji robota ASIMO, pozwalającego samodzielnie poruszać się w pomieszczeniach, włączać światło, otwierać drzwi.
- 2006 – Prezentacja interfejsu do robota ASIMO, pozwalającego na sterowanie robotem za pomocą myśli

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



3. Robot mobilny

Robot mobilny jest to urządzenie zdolne do zmiany swojego położenia w przestrzeni, czyli do wykonywania takich czynności jak: jeżdżenie, pływanie czy nawet latanie. Roboty mobilne mogą być również robotami autonomicznymi, tzn. takimi, których nie ograniczają przewody sterujące bądź zasilające, a jedyne przeszkody, jakie mogą się w ich pobliżu pojawić to ściany i inne elementy hali produkcyjnej lub magazynowej. Roboty mobilne jeżdżące możemy podzielić na nieautonomiczne wózki AGV (ang. *Automated Guided Vehicles*) i autonomiczne – roboty AMR (*Autonomous Mobile Robots*).

Wózki AGV wymagają wydzielenia specjalnych tras za pomocą np. pasków magnetycznych w podłodze. Podczas napotkania przeszkody na zaplanowanej wcześniej trasie, zatrzymują się i nie są w stanie jej ominąć. Czekają, dopóki, dopóty bariera nie zostanie usunięta. Kosztownym i czasochłonnym zadaniem jest poprawienie ich trajektorii ruchu. Wózki AGV potrzebują zaprogramowania konkretnej trasy i sekwencji sterowania. Urządzenia te mogą poruszać się w pojedynkę wioząc na sobie komponenty lub mogą ciągnąć za sobą kilka wózków, połączonych za pomocą haka, na których przewożone są ładunki. Samojezdne wózki AGV wyposażone są w skanery laserowe, które są umiejscowione zazwyczaj z przodu robota.

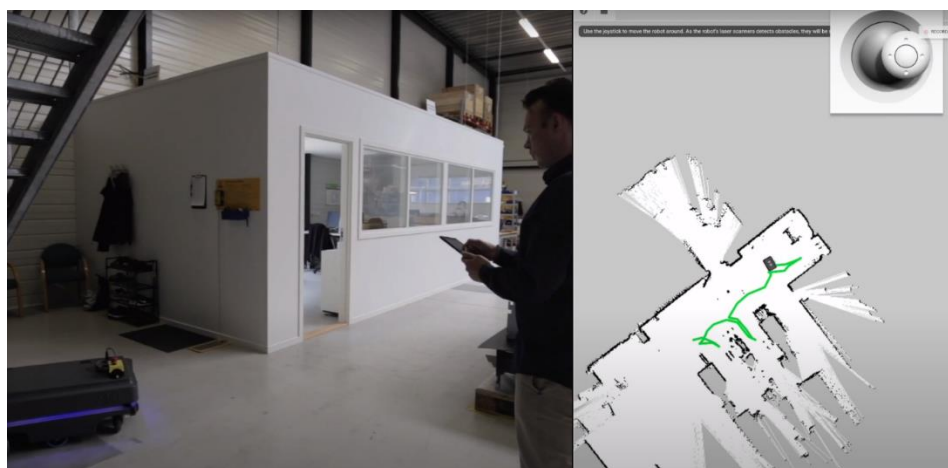


Rys. 2. Wózek AGV firmy Autoguide (źródło: <https://www.agmobilerobots.com/mylo-1/>)

Autonomiczny robot mobilny to urządzenie niewymagające zewnętrznej infrastruktury do nawigowania. Porusza się bezkolizyjnie po zadanej trasie, bez bezpośredniej ingerencji operatora. Wystarczy takiemu wózkowi zaprogramować trasę całej przestrzeni, a on dzięki wielu czujnikom bez problemu będzie bezpiecznie przemieszczał się, omijając ludzi i przeszkody, dostosowując swoją ścieżkę do napotkanych warunków.

Autonomiczne roboty mobilne są łatwe i szybkie do wdrożenia. Możliwe jest to poprzez wbudowane kamery i sensory, które rozpoznają przeszkody i dynamicznie na nie reagują (unikają ich) oraz optymalizują trasę przejazdu.

Aby robot mógł jeździć autonomicznie, pierwszą czynnością, którą trzeba zrobić, jest utworzenie mapy. Odbywa się to poprzez uruchomienie specjalnego mechanizmu do mapowania na robocie i jedyne, co użytkownik musi zrobić, to sterować robotem manualnie – wirtualnym joystickiem np. w telefonie. Podczas przejazdu skanery laserowe wykrywają ściany, maszyny, urządzenia i finalnie powstaje mapa dla robota.



Rys. 3. Programowanie mapy dla robota mobilnego (youtu.be/_uV6zP95xM0)

Można szybko zmienić mapę, doposażyć ją w dodatkową strefę np. dźwiękową czy ograniczającą prędkość, a także w dynamiczny sposób przydzielić robota do różnych zadań.

W przemyśle roboty mobilne stosuje się w szerokiej gamie zastosowań. Jednakże najczęstszymi obszarami wykorzystania robotów mobilnych jest szerokorozumiany transport. Przykładowe zastosowania w transporcie wewnętrznym i zewnętrznym przedstawiono poniżej.

Autonomiczny robot mobilny do przewożenia ładunków na obcych platformach. Do zastosowania autonomicznych robotów jeżdżących możemy zaliczyć holowanie wózków z ładunkiem w zadane wcześniej miejsce. Niektóre roboty mobilne w ten sposób mogą przewozić ciężkie ładunki – nawet do 500 kg, np. w zakładzie produkcyjnym, magazynie, a także w szpitalu.

Robot jest wyposażony w specjalny hak, który przy pomocy kamery 3D automatycznie wykrywa oczekujący w określonym miejscu wózek, zaczepia go i po dostarczeniu w odpowiednie miejsce – odczepia.



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

*Biuro Projektu:
ul.Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin*

Autonomiczny robot mobilny przemieszcza się po wcześniej zmapowanym obszarze, omijając po drodze przeszkody oraz przechodzących ludzi. Bezpieczeństwo jest bardzo ważne – dlatego robot posiada pełną kontrolę nad ciągniętym wózkiem. Główną zaletą tego rozwiązania jest to, że robot tak optymalizuje swój ruch, aby wózek nie zahaczył o nic po drodze (rys. 4).



Rys. 4. Robot AMR serii MiR Hook 200 (astor.com.pl)

Autonomiczny robot mobilny do przewożenia palet. Kolejnym zastosowaniem autonomicznych robotów mobilnych jest transport palet. Transport ten odbywa się wewnątrz hali produkcyjnej albo w magazynie wysokiego składowania. Robot, podobnie jak wózek widłowy wjeżdża pod paletę, unosi ją, wiezie na z góry oznaczone miejsce i rozładowuje paletę. Robot za pomocą czujników laserowych (skanerów) wykrywa specjalny podest – stację zdawczo-odbiorczą, na której należy umieścić paletę/palety, dokuje się do niego i pobiera paletę przy pomocy zainstalowanej na robocie windy (rys. 5).



Rys. 5. Robot MiR do przewozu palet i stacja zdawczo-odbiorcza (astor.com.pl)

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

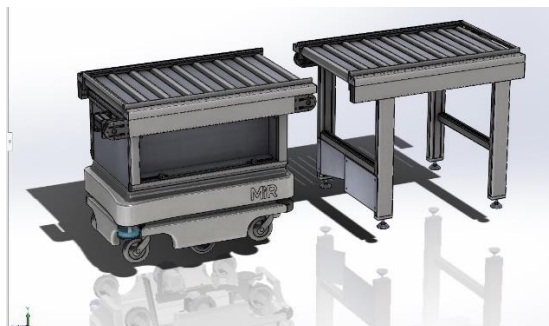
Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

Po dotarciu na miejsce (dzięki załadowanej mapie hali), gdzie również musi być zainstalowana stacja zdawczo-odbiorcza, robot dokuje do stacji i rozładowuje platformę z paletą.



Rys. 6. Dokowanie robota z paletą do stacji zdawczo-odbiorczej (<https://www.youtube.com/watch?v=09lx4jQud8U&t=31s>)

Kolejną grupą robotów transportowych są **autonomiczne roboty do współpracy z przenośnikiem rolkowym**. W zakładach produkcyjnych częstym środkiem transportu są przenośniki rolkowe lub taśmowe. Istotną wadą takiego środka transportu jest to, że zajmuje dużo miejsca w hali i bardzo ciężko jest zmienić ich ustawienie i położenie. Jednym ze sposobów ograniczenia stosowania przenośników taśmowych, czy rolkowych jest stosowanie robotów AMR przystosowanych do współpracy z tego rodzajami przenośników. I tak, robot może mieć zainstalowany na sobie przenośnik rolkowy podłączony do zasilania robota i z jego poziomu też sterowany (rys. 7).



Rys. 7. Robot MiR 100 z zainstalowanym przenośnikiem rolkowym (astor.com.pl)

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



**Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej**

**Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin**

Robot z takim modułem podjeżdża do linii produkcyjnej, na końcu której jest zainstalowany przenośnik rolkowy. Po wykryciu markera (specjalne wgłębienie na wysokości skanera) robot może bardzo precyzyjnie (z dokładnością do 1-10 mm) zadokować się do takiego stacjonarnego przenośnika rolkowego. Po zadokowaniu czujnik informuje robota, że może nastąpić uruchomienie rolek zarówno na robocie, jak i na stacjonarnym przenośniku i transportowany przedmiot (część, karton, paleta itp.) zostaje umieszczony na robocie. Robot AMR przewozi przedmiot w inne miejsce na hali, oddalone nawet o kilkaset metrów, a następnie oddaje go na inny przenośnik rolkowy w miejscu docelowym.

Podsumowując, autonomiczne roboty mobilne (AMR) można wykorzystać do przewozu ładunków, do współpracy z przenośnikami i nie tylko. Warto podkreślić, że AMR są bezkolizyjne i co bardzo istotne – bezpieczne dla ludzi. Dzięki zainstalowanym czujnikom wewnętrznym i zewnętrznym, oprogramowaniu sterującemu wykrywają i omijają przeszkody na swej drodze, co znacznie minimalizuje niebezpieczeństwo kolizji. Ważną zaletą robotów AMR jest to, że mogą one pracować w dość ciężkich warunkach (hałas, brak oświetlenia, wysoka/niska temperatura, zapylenie itp.), w których praca człowieka jest niemożliwa.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

4. Roboty mobilne – podział i klasyfikacja

Roboty mobilne można podzielić według wielu kryteriów. Podstawowe dzielą się na dwa typy:

1. Autonomiczne,
2. Zdalnie sterowane.

Od robotów autonomicznych oczekuje się, że będą w stanie samodzielnie wykonać przydzielone im zadanie. Może to być np. monitorowanie kolorowej linii na podłodze i możliwość reakcji na ewentualną przeszkodę – zatrzymanie się lub ominięcie jej, powrót do znaku (Linia) i kontynuowanie jazdy. Albo umieć poruszać się w nieznanym środowisku, umieć je zmapować, a następnie zorientować się w nim i osiągnąć założony cel. Roboty zdalnie sterowane są sterowane przez operatora, który ma – zwykle wizualne – informacje o środowisku pracy robota. Ale nawet taki robot powinien być wyposażony w pewien stopień autonomicznego zachowania – np. jeśli straci komunikację z operatorem, może zwolnić miejsce i przemieścić się do najbliższej ściany.

Zdalne sterowanie obejmuje również sterowanie teleobecnością. Jest to pilot wykorzystujący elementy wirtualnej rzeczywistości, który sprawia, że operator czuje się jak w przestrzeni roboczej robota.

W zależności od otoczenia, w jakim ma się poruszać robot, roboty mobilne poruszające się dzielimy:

- na lądzie (terrestrial),
- w środowisku wewnętrznym/zewnętrznym (indor/outdoor),
- w wodzie (aquatic),
- w powietrzu (airborne),
- w kosmosie (space),
- hybrydowe.

Można je podzielić ze względu na cel wdrożenia:

- przeładunkowe,
- montażowe,
- serwisowe,
- kontrolne,
- rozpoznawcze,
- wojskowe,

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowisko Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

- medyczne,
- przeznaczone do rozrywki.

Roboty mobilne poruszające się po lądzie można dalej podzielić ze względu na rodzaj podsystemu ruchu na:

- kołowe,
- pełzające,
- chodzące,
- pełzające,
- wspinające się,
- skaczące i hybrydowe.

Spośród nich najczęstsze są kołowe, śledzone i chodzące.

4.1. Roboty kołowe

Najczęściej spotykaną grupą są kołowe roboty mobilne, wspomnijmy tutaj o typowych platformach.

Koła mogą być aktywne - napędzane lub pasywne - holownicze. Z konstrukcyjnego punktu widzenia możliwe jest wówczas zastosowanie różnych typów kół: standardowych, wielokierunkowych, Weinstein'a (Rys. 8), przegubowych, MaxWheel® i nietradycyjnych.



Rys. 8. Robot z kołami Weinstein'a
(<http://robot2.vsb.cz/theses/517/>)

Kolejnym ważnym parametrem jest liczba stopni swobody ich ruchu. Powszechnie używane mają jeden lub dwa. Koła z jednym stopniem swobody mogą toczyć się po powierzchni tylko wzdłuż jednej osi (wału).

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ





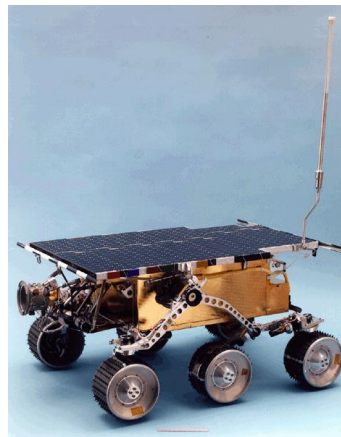
www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

W przypadku koła o większej liczbie stopni swobody koło porusza się wokół dwóch osi, które mogą być równoległe do powierzchni (analogia kulki mechanicznej myszy komputerowej) lub jedna oś jest równoległa, a druga prostopadła - np. przednie koło samochodu. Na przykład podsystem napędowy znanego robota rozpoznawczego „Sojourner” ma wszystkie sześć kół napędzanych, przy czym przednia i tylna para są kierunkowe (rys. 9).



Rys. 9. Robot mobilny Sojourner z sześciokołowym układem lokomotorycznym
(https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Sojourner_side_view.gif)

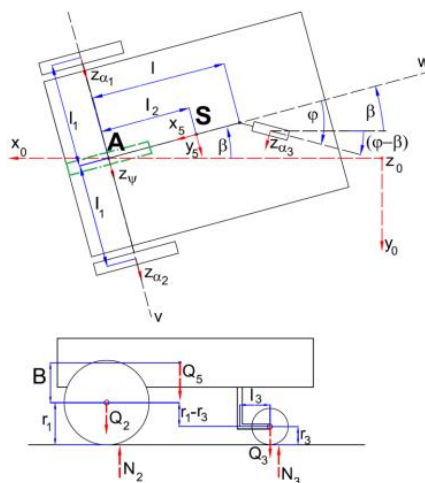
W zależności od liczby kół roboty można podzielić na jednokołowe, dwukołowe, trzykołowe, czterokołowe, sześciokołowe, ośmiokołowe oraz konstrukcje specjalne. Najprostszym typem są roboty na podwoziu trójkołowym z kołami kierowanymi różnicowo (rys. 10). Dwa koła jezdne są napędzane niezależnymi silnikami krokowymi. Trzecie koło (rolka toczna) jest zamocowane na stałe do podwozia i nie zmienia swojego położenia w osi pionowej. Skręt robota realizowany jest przez kierunku obracania się kół napędowych (podobnie jak w pojazdach gąsienicowych).



Rys. 10. 3-kołowy robot edukacyjny Maqeen

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ

Innym rozwiązaniem robotów 3-kołowych są dwa niezależnie napędzane koła i jedno swobodnie obracające się nienapędzane koło kierunkowe z przodu (lub drugie z tyłu).



Rys. 11. Schemat robota 3-kołowego ze swobodnym kołem

Zaletą tej koncepcji jest zwrotność – robot jest w stanie obracać się wokół osi, a także łatwość sterowania – skręcanie poprzez zmianę prędkości (i ewentualnie kierunku) obracania kół. Wadą jest niska ruchomość w zróżnicowanym terenie. Ten typ podwozia jest często stosowany w praktyce i na polu doświadczalnym.

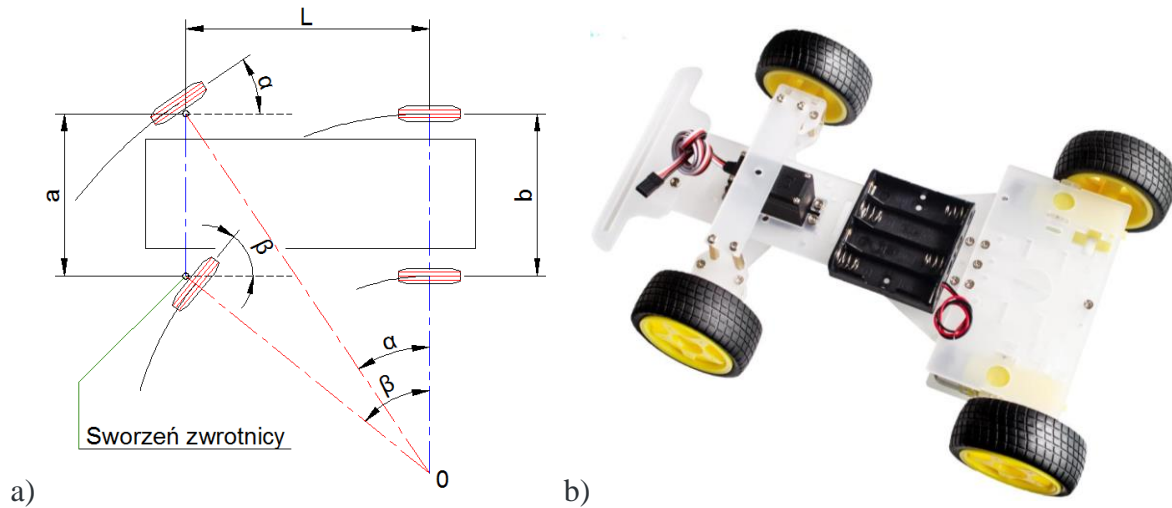
Często stosowanym typem podwozia jest tzw. podwozie Ackermana (rys. 11). W przypadku układu czterokołowego jest to typ znany w samochodach. MR jest najczęściej używaną konfiguracją z napędem skrętnym i tylnym (z mechanizmem różnicowym). Zasad działania podwozia Ackermana polega na tym, aby pojazd mógł poruszać się po krzywiźnie bez poślizgu kół jezdnych, niepożądanego z uwagi na możliwość zarzucenia pojazdu i przedwczesne zużywanie się opon, układ kierowniczy powinien ustawiać koła kierowane w sposób zapewniający toczenie się kół kierowanych po łukach o wspólnym środku krzywizny, leżącym na przedłużeniu osi obrotu tylnych kół pojazdu. Zasadę Ackermana można zapisać wzorem:

$$\operatorname{ctg}(\alpha) = \operatorname{ctg}(\beta) = \frac{a}{L} \quad (1)$$

gdzie:

α i β - kąty pomiędzy osiami obrotu kół kierowanych a osią kół tylnych,

a - odległość środków sworzni zwrotnic, L - rozstaw osi pojazdu (por. rys. 12).



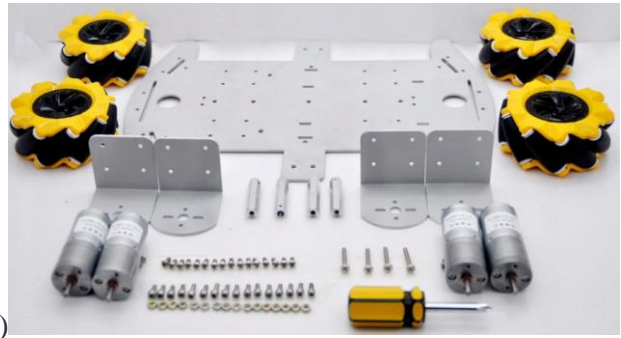
Rys. 12. Robot na podwoziu Ackermana, a) schemat układu kół, b) przykładowe rozwiązanie

W układzie trzykołowym można spotkać warianty z napędem na tylne koła (z mechanizmem różnicowym) i przednim skrętnym kołem lub tylnymi kołami swobodnie obracającymi się i przednimi kołami napędzanymi i skrętnymi. Podwozia Ackermana stosowane są w praktyce głównie w większych pojazdach. Wadą jest niemożność skręcenia w miejscu.

Specjalną grupę podsystemów ruchu stanowią (najczęściej) trójkołowe i czterołowe podwozie z kołami dookólnymi (rys. 13). Systemy ruchu oparte na tych kołach (jest ich kilka rodzajów) pozwalają robotowi na swobodne poruszanie się we wszystkich kierunkach oraz obracanie się lub obracanie na bardzo małej przestrzeni. Umożliwiają natychmiastową zmianę kierunku przy zerowym promieniu skrętu. Ich wadą jest wyższa cena, biorąc pod uwagę wymóg precyzyjnej produkcji, a także niska zdolność pokonywania przeszkód. Z tego powodu mogą być stosowane praktycznie tylko w aplikacjach do środowiska wewnętrznego. Ich praktyczne zastosowanie można znaleźć na podnośnikach nożycowych wysokiego podnoszenia. Na przykład niektóre amerykańskie wozy bojowe używają czterołowego robota z wielokierunkowymi kołami PANAMA do transportu i manipulowania głowicami raketowymi.



a)



b)

Rys. 13. Podwozie z kołami dookólnymi, a) podwozie, b) części składowe podwozia pojazdu (allegro.pl)

4.2. Roboty na podwoziu gąsienicowym

Kolejną grupą bardzo popularnych rozwiązań robotów mobilnych są roboty na podwoziu gąsienicowym. Kinematyka podwozia gąsienicowego jest podobna do kinematyki podwozia z mechanizmem różnicowym opisanego powyżej. Można sobie wyobrazić, że koła to wydłużone pasy. Poprawia to przełaj i wspinaczkę. Z drugiej strony ruch, a zwłaszcza obrót, któremu towarzyszy ścinanie, jest bardziej energochłonny. Ponieważ wspomniane ścinanie występuje podczas ruchu, praktycznie niemożliwe jest zastosowanie „taniej” odometrii i zamiast tego należy zastosować inną metodę samolokalizacji. Z tego powodu ten typ podwozia jest głównie używany tylko do systemów teleoperatorskich i zastosowań specjalnych. Jest często stosowany w buldożerach i transportowcach wojskowych (badania terenowe, rozminowywanie, dekontaminacja itp.), sił bezpieczeństwa - badania i przenoszenie niebezpiecznych przedmiotów a także w straży pożarnej - przenoszenie niebezpiecznych przedmiotów - np. butli, tj. do środowisk zewnętrznych (rys. 14). W środowisku wewnętrznym służy do wchodzenia lub schodzenia po schodach.



a)



b)

Rys. 14. Roboty mobilne na podwoziu gąsienicowym, a) robot patrolowo-przenośny do sił zbrojnych RP – PIAP Warszawa, b) robot dezynfekujący Politechnika Śląska

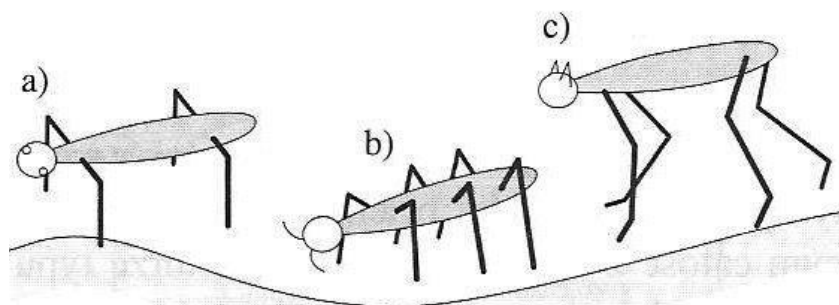
4.3. Roboty kroczące

Roboty kroczące zajmują ważną pozycję w dziedzinie robotów mobilnych. Stosowane są szczególnie tam, gdzie ujawniają się zalety tego typu podwozi – przepustowość w trudnym terenie. W swoim wyglądzie i ruchu mogą naśladować ludzi, zwierzęta lub owady. Obecnie istnieje szereg rodzajów robotów kroczących, które najczęściej dzieli się ze względu na liczbę nóg i ich stopnie swobody. Według tego podziału szósta grupa jest najbardziej rozpowszechniona. Wady tych robotów obejmują większą liczbę sterowanych osi, a co za tym idzie również siłowników (napędy, przekładnie, czujniki itp.), bardziej złożone sterowanie, dla dwunożnej potrzeby kontrolowania stabilności, niższą efektywność energetyczną, złożoność, złożoność produkcji itp.

Projektując robota kroczącego, konstruktor musi odpowiedzieć sobie na wiele pytań. Wiąże się to między innymi z założeniami konstrukcyjnymi. Część z nich jest natury ogólnej ale inna część musi być szczegółowa. Klasyfikacja robotów kroczących może być różna. Jest ona zazwyczaj zależna od wybranego kryterium. Najczęstszym kryterium podziału robotów kroczących jest *worzec ruchu*. Innymi kryteriami

mogą być: liczba nóg, rodzaj stabilności chodu, wzorzec ruchu. Jak łatwo zauważyć niektóre z kryteriów są ze sobą ściśle powiązane jak np. ilość nóg i rodzaje chodu. Poniżej omówiono wybrane kryteria.

Wzorzec ruchu. Robotyka pełnymi garściami czerpie wzorce z przyrody. Zjawisko to nazywane naśladownictwem biologicznym (mimetyzm) wzoruje się na budowie oraz funkcjonowaniu organizmów żywych. Dla robotów kroczących wzorcami są zazwyczaj zwierzęta – wzorce biologiczne. Obserwacja i próby naśladownictwa chodu różnych zwierząt pozwoliła stworzyć pewne typowe wzorce ruchu: owada, gada i ssaka. Na poniższym rysunku schematycznie przedstawiono te wzorce.

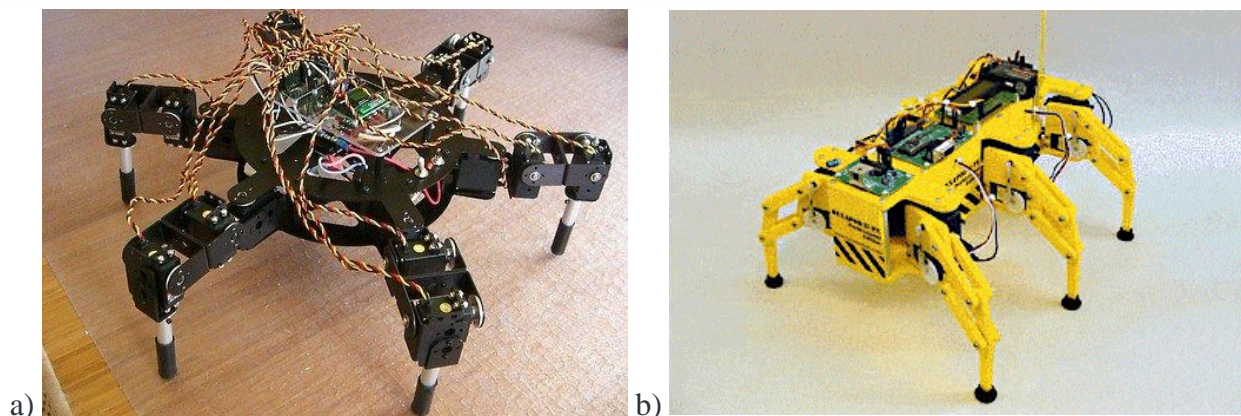


Rys. 15. Wzorce ruchu w oparciu o ułożenie nóg zwierząt, a) gada, b) owada, c) ssaka
(T. Zielińska: Maszyny kroczące. PWN Warszawa 2003)

Niezwykle ważnym do rozwiązania przez konstruktorów robotów kroczących zagadnieniem jest wysokość środka ciężkości konstrukcji. Łatwo to zauważyć na przykładzie z powyższych schematów, że jego położenie jest zróżnicowane. Pewnym natomiast jest to, że *im wyżej położony środek ciężkości tym trudniej utrzymać równowagę robota*. Stąd ogromna troska konstruktorów, aby ułokować środek ciężkości jak najniżej konstrukcji robota.

Rodzaje nóg. Kolejną sprawą, wynikającą ze wzorca biologicznego, jest **rodzaj nóg**. Robot może mieć wszystkie nogi jednakowe, może mieć pary różnych nóg (pod względem długości i/lub kształtu). Wiąże się to z wykonaniem, ale także z możliwymi rodzajami ruchu.

Łatwiej - i zazwyczaj taniej - jest wykonać robota o jednakowych nogach. Kolejna sprawa to ułożenie nóg względem korpusu. Tutaj znów mamy kilka możliwości – nogi rozłożone symetrycznie wokół okręgu, wzorowane na pająku (rys. 16a), nogi rozłożone po dwóch stronach robota, wzorowane np. na krabie (rys. 16b), nogi umieszczone pod korpusem – jak u ssaka.



Rys. 16. Sposoby rozmieszczenia nóg robota kroczącego, a) układ pająka, b) układ równoległy
(<https://forbot.pl/blog/roboty-kroczone-teoria-podstawy-projektowania-id976>)

Rodzaj stabilności. Kryterium to nierozłącznie wiąże się z ilością nóg robota. W robotach mobilnych mówimy o następujących rodzajach stabilności: chód stabilny statycznie, chód stabilny dynamicznie, chód quasi-statycznie stabilny.

Chód stabilny statycznie to taki, który pozwala zatrzymać robota w dowolnym momencie i nie utraci on swojej równowagi. Roboty, które realizują chód z takim rodzajem stabilności to roboty sześcionożne mogące zapewnić chód trójpodporowy (por. rys. 16).

Chód stabilny dynamicznie jest całkowitym przeciwieństwem poprzedniego. Cechą charakterystyczną chodu stabilnego dynamicznie jest to, że tylko w niektórych momentach ruchu robot może zostać zatrzymany bez utraty stabilności. W pozostałych fazach ruchu stabilność chodu jest utrzymywana dzięki dynamice ruchu. Zatrzymanie robota w takiej chwili skutkuje jego wywróceniem się. Wielu autorów prac porównuje ten rodzaj chodu do galopu konia.

Chód quasi-statycznie stabilny uzyskuje się stabilność dzięki konstrukcji nogi kroczącej. Stabilność tę osiąga się np. poprzez duże rozmiary i masa stopy robotów tzw. bipedów (rys. 17). Stabilność poruszania się jest zapewniona przez „wahanie się” – noga przemieszczana równoważy wychylenie tułowia.



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

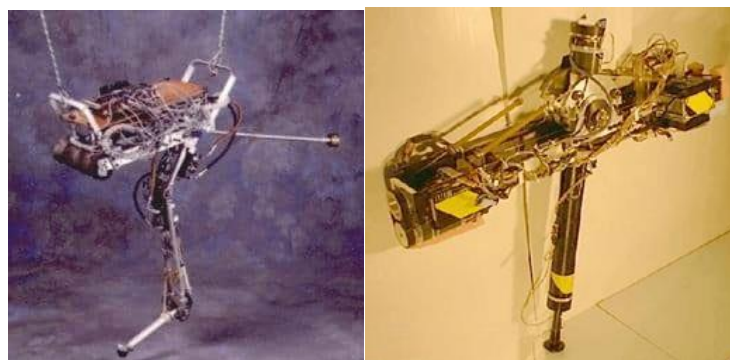
Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin



Rys. 17. Robot typu biped
(<https://forbot.pl/blog/roboty-kroczone-teoria-podstawy-projektowania-id976#gallery-8>)

Ilość nóg robota kroczonego. Teoretycznie robot kroczone może mieć dowolną liczbę nóg. Minimalna ilość nóg to zero (roboty pełzające na wężopodobne). Jednakże mówiąc o robotach pedipulatorach (robotach kroczone) mamy na myśli konstrukcje posiadające jedną, dwie, cztery, sześć i więcej odnóży.

Robot jednożoźny (monoped) to konstrukcja, która może wykonywać tylko jeden rodzaj ruchu – skaczące. Roboty takie charakteryzuje dynamiczny rodzaj ruchu (rys. 18). To, że taki robot nie przewraca się jest zasługą: dużej mocy silników napędowych, bardzo szybkiego układu sterowania, czujników i skomplikowanego algorytmu sterowania.



Rys. 18. Przykłady monopedów
(http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest131221.htm)

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

Bipedy to roboty dwunożne, cechują się chodem stabilnym dynamicznie, zazwyczaj na ugiętych nogach. Wzorcem biologicznym takich robotów jest przeważnie człowiek. Roboty te poruszają się, balansując na ugiętych nogach (por. rys. 17).

Roboty czworonożne (quadropedy) wzorowane są na biologicznym pierwowzorze jakim są ssaki lub gady. Roboty te potrafią poruszać się zarówno chodem dynamicznie stabilnym (galop) oraz stabilnym statycznie (przemieszczanie jednej nogi na raz). Roboty sześcionożne mogą poruszać się zarówno chodem stabilnym statycznie jak i dynamicznie.

W przypadku tej grupy robotów można wyróżnić więcej niż jeden rodzaj ruchu statycznie stabilnego. W związku z tym, algorytm ruchu jest najłatwiejszy do zaprogramowania ze wszystkich wymienionych grup, jedyną trudność może stanowić duża liczba stopni swobody.

Roboty wielonożne to konstrukcje o większej liczbie nóg niż sześć. W takim rozwiązaniu (o ile musimy sterować każdą nogą osobno) komplikuje nam się układ sterowania. Roboty te poruszają się chodem **stabilnym statycznie**. Maksymalną liczbę możliwych chodów określa wzór podany w 1968 r. przez **McGee**:

$$N=(2*k-1)! \quad (1)$$

gdzie: k – ilość nóg, N – ilość możliwych rodzajów chodu, ! – symbol silni

Rodzaj chodu – jest to kolejne kryterium robotów mobilnych. Wzór (1) podaje maksymalną ilość możliwych chodów, jednak nie każdy robot może poruszać się wszystkimi wyliczonymi sposobami.

Ograniczenie to wynika z zastosowanych napędów, wybranego aparatu ruchu i jego ograniczeń oraz ograniczeń układu sterowania – zwłaszcza jego szybkości.

Jeżeli napęd nie posiada dużej rezerwy mocy oraz dynamiki, wtedy robot może poruszać się wyłącznie chodem stabilnym statycznie. Konstrukcja nóg oraz powiązań mechanicznych między określonymi nogami (lub stopniami swobody pojedynczej nogi) również ogranicza ilość możliwych chodów. Liczba ta może być ograniczona nawet do jednego rodzaju.

Bardzo popularnym i prostym do zrealizowania jest **ruch falowy**. Określona tutaj sekwencja przestawień nóg jest zapętlna. Chody takie można przedstawiać za pomocą diagramów chodu (np. rys. 19). Faza przenoszenia nogi nazywa się **fazą protrakcji**, natomiast okres, w którym noga ma kontakt z podłożem nazywa się **fazą refrakcji**. Chód ten nazywa się także chodem periodycznym.

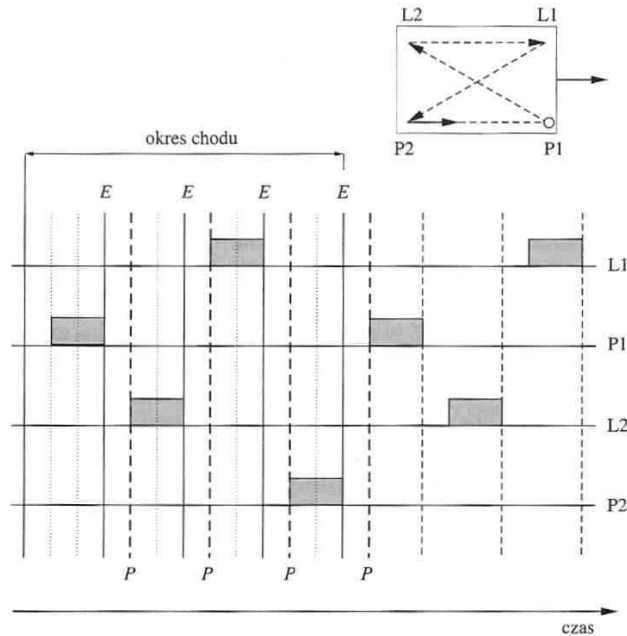
PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 19. Diagram chodu robota czworonożnego

Chody takie mają zastosowanie na prostych, płaskich powierzchniach. Ich zaletą jest prostota realizacji. Kolejnym rodzajem jest chód swobodny – **freestyle**. W tym przypadku decyzja, która noga ma być przestawiona oraz gdzie ma stanąć, jest podejmowana na bieżąco. Chód taki wymaga skomplikowanego algorytmu sterowania, wyposażenia nóg w czujniki oraz szybkiego układu sterowania. Jego zaletą jest bardzo szeroki zakres zastosowań – nadaje się do użycia w skomplikowanym terenie.

Ostatnim rodzajem chodu jest **ruch za przewodnikiem** (ang. *follow the leader*). Noga następną jest kładziona w miejscu, w którym umieszczona była wcześniej noga poprzednia. Problem miejsca położenia nogi dotyczy tylko nóg pierwszych. Ma on zastosowanie podobne do ruchu swobodnego.

5. Podsystem napędu robota mobilnego

Podsystem napędowy robota stanowi część podsystemu ruchu. W dziedzinie robotów mobilnych najczęściej stosowane są obrotowe silniki elektryczne. Dla wyższych mocy stosowane są napędy elektrohydrauliczne. Ze względu na korzystny stosunek mocy do masy, wśród silników elektrycznych stosuje się silniki komutatorowe prądu stałego, a obecnie coraz częściej stosuje się również silniki bezszczotkowe prądu stałego i przemiennego. Silniki krokowe (niski koszt, łatwa obsługa, nie wymaga skrzyni biegów) oraz serwa modelowe (łatwa obsługa, wbudowana skrzynia biegów, sterowanie położeniem) są stosowane jako alternatywne napędy w zakresie małych szkolnych robotów mobilnych.

5.1. Silnik prądu stałego

Silnik prądu stałego z magnesami trwałymi jest często stosowanym typem silnika w dziedzinie napędu robotów mobilnych. Do jego zalet należy w szczególności bardzo korzystny stosunek mocy do masy, stosunkowo łatwa regulacja prędkości, a także cena i dostępność popularnych typów oraz szeroki asortyment. Wadą jest bardziej skomplikowana, a przez to droższa regulacja prędkości, a zwłaszcza położenia w porównaniu np. z silnikiem krokowym. Ponadto dzięki komutatorowi silnik ten jest źródłem zakłóceń elektromagnetycznych, a także jest bezobsługowy (np. w porównaniu z silnikiem krokowym).

Silnik prądu stałego zwykle pracuje ze stosunkowo dużą prędkością i niskim momentem obrotowym, co jest niekorzystne dla potrzeb napędów robotów mobilnych. Rozwiązaniem jest zastosowanie skrzyni biegów. Ta skrzynia biegów może już być częścią silnika (rys. 20).



Rys. 20. Silnik prądu stałego ze zintegrowaną przekładnią zębatą

Silnik może być również wyposażony w czujnik położenia lub prędkości wraz z przekładnią. Zaletą jest ogólna kompaktowość takiego napędu.

Większość silników prądu stałego ma dwa styki elektryczne. Po podłączeniu do tych zacisków napięcia znamionowego (z uwzględnieniem danych silnika) wirnik nieobciążonego silnika obraca się i jego prędkość stabilizuje się na wartości znamionowej. Zmieniając biegunowość uzyskujemy zmianę kierunku obracania, zmieniając napięcie to zmieniamy prędkość obrotową rotora.

Zasada działania. Obrót wirnika silnika prądu stałego z magnesem trwałym (rys. 21), spowodowany jest siłą $F = ILB$ generującą moment siły M na ramionach równy promieniowi W cewki (dla kąta $\alpha = 0^\circ$). Te siły są dwie - naprzeciw siebie. Ogólnie rzecz biorąc, moment M jest dwukrotnie równy sile F działającej na ramię $(W/2) \cdot \sin\theta$, gdzie kąt $\theta = 90 - \alpha$.

$$M = 2ILB \frac{W}{2} \sin\theta = ILBW \sin\theta \quad (2)$$

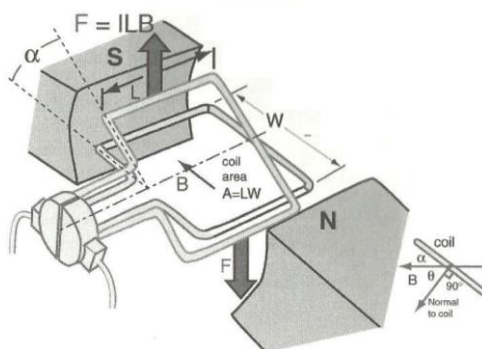
$$M = IBAsin\theta \quad (3)$$

gdzie: $A = LW$ pole powierzchni uzwojenia.

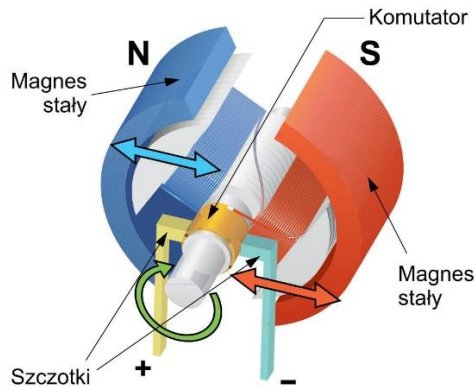
W rzeczywistości jedna pętla uzwojenia jest zastąpiona cewką złożoną z pętli N -zwojowych. Na każdy zwoj działa moment obrotowy M , więc całkowity moment obrotowy działający na cewkę wynosi:

$$M_{całk} = NIBAsin\theta \quad (4)$$

Ciągły obrót wirnika wymaga zmiany biegunowości przepływającego prądu, którą zapewnia mechanicznie komutator.



Rys. 21. Schemat działania silnika stałoprądowego



Rys. 22. Schemat budowy silnika prądu stałego

Wybór odpowiedniego typu silnika wymaga zrozumienia jego podstawowych parametrów i właściwości. Można je wyprowadzić z jego uproszczonego modelu (rys. 23).

Wyjściowa moc mechaniczna P_{out} jest proporcjonalna do wejściowej mocy elektrycznej P_e w proporcji:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_e} \quad (5)$$

Ze względu na typowe straty, takie jak tarcie, opór uzwojenia i inne, stosunek ten, zwany sprawnością, jest mniej powszechny. Zazwyczaj dla małych silników prądu stałego zawiera się on w przedziale 0,5-0,75, dla dużych około 0,9. Należy również zauważyć, że gdy wirnik - a tym samym cewka - obraca się w polu magnetycznym magnesu trwałego stojana, generowany jest prąd elektryczny. Jego zmiana w czasie indukuje tzw. odwrotne napięcie elektromotoryczne u_{emf} o przeciwnej biegunowości niż napięcie zasilania silnika przyłożone do jego zacisków. Wielkość tego napięcia zależy od parametrów silnika, tj. od indukcji magnetycznej B w szczelinie uzwojenia, od liczby i długości zwojów wirnika oraz od średnicy, przy której znajduje się uzwojenie. Te parametry silnika są wyrażone w katalogu silników przez stałą prędkości k_n , która jest określona przez zależność dla prędkości n w obr/min:

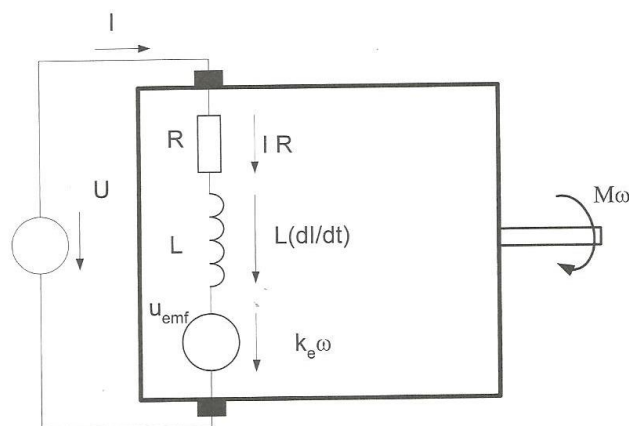
$$n = \frac{k_n}{u_{emf}} \quad (6)$$

Zatem, im szybciej wirnik się obraca, tym wyższe napięcie. Ponieważ wspomniane już napięcie U_{emf} jest w przeciwnej biegunowości do napięcia zasilania U , następuje spadek prądu płynącego przez uzwojenie:

$$U = IR + u_{emf} \quad (7)$$

$$I = \frac{U - u_{emf}}{R} \quad (8)$$

W rezultacie wraz ze wzrostem prędkości ω moment M maleje.



Rys. 23. Uproszczony model elektryczny silnika prądu stałego

Ponadto, przy zerowej prędkości $\omega = 0$, powrotne napięcie elektromotoryczne wynosi $u_{emf} = 0$, a prąd przepływający przez silnik wynosi:

$$I_s = \frac{U}{R} \quad (\text{przy } u_{emf} = 0) \quad (9)$$

Prąd I_s nazywany jest prądem zwarciovym i przepływa przez uzwojenie, gdy silnik jest przeciążony mechanicznie zatrzymuje się $\omega = 0$. W niektórych źródłach prąd ten nazywany jest również prądem rozruchowym, co nie jest całkowicie poprawne ze względu na niezerową stałą czasową uzwojenia.

Gdy silnik się obraca, napięcie elektromotoryczne u_{emf} jest wprost proporcjonalne do prędkości obrotowej ω :

$$u_{emf} = k_e \omega \quad (10)$$

gdzie: k_e – odwrotna stała elektromotoryczna.

Po podstawieniu otrzymamy:

$$U = IR + k_e \omega \quad (11)$$

(przy stałej prędkości lub prądzie przepływającym przez silnik napięcie na indukcyjności L wynosi zero i dlatego nie jest podane w zależności 11).

Podobnie moment obrotowy M jest proporcjonalny do prądu płynącego przez uzwojenie i pola magnetycznego. Jest więc kontrolowany tylko przez przepływający prąd. Moment M rośnie liniowo wraz

z prądem o stałej proporcjonalnej k_M , zwanej stałą momentu:

$$M = k_M I \quad (12)$$

Przy takim założeniu zależność na napięcie przyjmie postać:

$$U = \frac{MR}{k_M} + k_e \omega = 0 \quad (13)$$

Moc mechaniczna P_m na wale to moc elektryczna P_e minus strata rezystancji uzwojenia (dla uproszczenia nie uwzględniamy strat tarcia):

$$P_m = P_e - I^2 R \quad (14)$$

Po podstawieniu:

$$M\omega = UI - I^2 R, \quad (15)$$

$$k_M I \omega = (IR + k_e \omega)I - I^2 R, \quad (16)$$

Po uporządkowaniu powyższej zależności otrzymamy:

$$k_M = k_e = k_M, \text{ czyli } k_M = k_e \quad (17)$$

Wówczas napięcie zasilania silnika prądu stałego wyniesie:

$$U = \frac{MR}{k_M} + k_M \omega \quad (18)$$

I tak ostatecznie otrzymamy zależność na prędkość obrotową rotora silnika prądu stałego:

$$\omega = -\frac{R}{k_M^2} M + \frac{U}{k_M} \quad (19)$$

5.2. Silnik krokowy

Pierwsza wzmianka o silnikach krokowych związana jest z przyznaniem patentów w 1919 roku w Wielkiej Brytanii, a rok później w Stanach Zjednoczonych.

Autor McClelland, W. w swoim artykule *The Application of Electricity in Warships*, opublikowanym w JIEE65 w 1927 roku, opisuje zastosowanie trójfazowego reakcyjnego silnika krokowego. Ten silnik krokowy był używany jako część zdalnego naprowadzania torped w brytyjskiej marynarce wojennej. Kilka lat później w innym artykule w *IEEE Transactions on Automatic Control* silnik krokowy był używany w US Navy do podobnych celów.

Jednak komercyjne zastosowanie silników krokowych sięga lat 60-tych w związku z pojawieniem się technologii półprzewodnikowej i komputerowej. W tamtym czasie najczęściej stosowane są w precyzyjnych

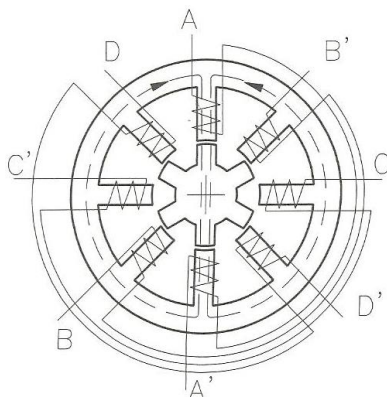
obrabiarkach (frezarkach), pamięciach dyskowych dużej pojemności, napędach drukarek, ploterach i tym podobnych. Prawdziwe masowe wdrożenie i rozwój silników krokowych datuje się na rok 1970, kiedy to rozpoczęto produkcję na dużą skalę serii hybrydowych silników krokowych $1,8^\circ$ (1967, Sanyo) i opracowano pierwszy czterobitowy mikroprocesor (1971, Intel):

- Zastosowanie silników krokowych w peryferiach komputerowych - pozycjonowanie głowic dysków twardych i dyskietek, drukarek.
- Maszyny NC.
- Opracowywane są również inne typy silników krokowych – liniowe, jednoosiowe i dwuosiowe.
- Napędy robotów przemysłowych i manipulatorów.
- Przemysł lotniczy.
- Działalność naukowa (badania, publikacje...).

W obecnej praktyce technicznej najczęściej stosuje się dwa typy obrotowych silników krokowych - reakcyjny i hybrydowy.

5.2.1. Silnik krokowy z pasywnym wirnikiem

Silnik krokowy z wirnikiem pasywnym nazywany jest też reakcją lub reluktancją lub ze zmienną reluktancją (zwłaszcza w literaturze zagranicznej - skrót VR, według Variable Reluctance). Rys. 24 przedstawia przekrój silnika krokowego o kącie kroku 15° . Stojan składa się z wiązki blach stalowych z ośmioma doskonałymi nabiegownikami podtrzymującymi proste uzwojenia poszczególnych faz (tu cztery). Wirnik, który może być wykonany z jednego kawałka stali lub podobnie jak stojan z wiązki blachy, ma sześć doskonałych nabiegowników o tej samej szerokości co stojan.

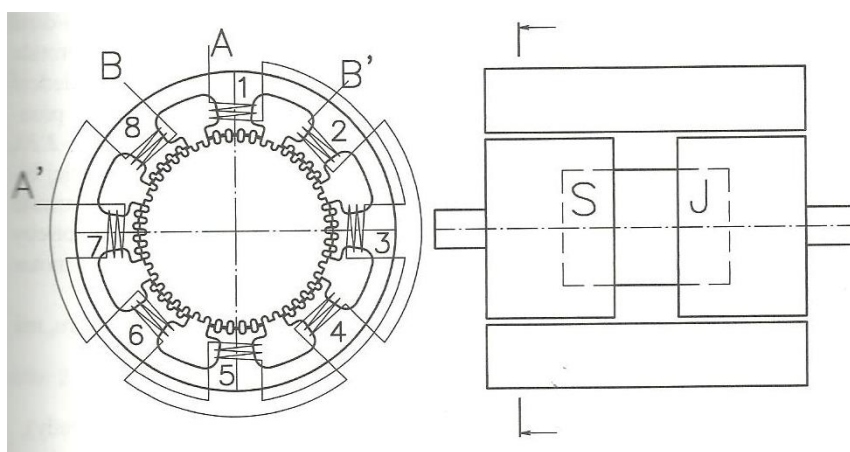


Rys. 24. Przekrój silnika krokowego o kącie kroku 15°

Pomiędzy nabiegownikami stojana i wirnika znajduje się bardzo mała szczelina powietrzna — zwykle od 0,02 do 0,2 mm. Przeciwległe pary uzwojeń stojana są połączone szeregowo i tworzą (przy zasilaniu) bieguny północny i południowy. Uzwojenia fazowe stojana są więc utworzone przez 4 niezależne uzwojenia.

5.2.2. Hybrydowy silnik krokowy

Ten silnik krokowy jest obecnie prawdopodobnie najczęściej używanym typem. Stojan opisywanego silnika składa się z ośmiu głównych nabiegowników, z których każdy jest dalej podzielony na 5 zębów. Na każdym głównym nabiegowniku znajduje się uzwojenie cewki. Wirnik silnika składa się z wału wykonanego ze stali niemagnetycznej, na który wciśnięte są dwa nabiegunki złożone z blach. Jak widać na rys. 25, pomiędzy tymi nabiegownikami umieszczony jest magnes trwały (magnes jest spolaryzowany osiowo, stąd te silniki krokowe nazywane są również „silnikami krokowymi z aktywnym wirnikiem z magnesem trwałym spolaryzowanym osiowo”), dzięki czemu każdy z nabiegowników wirnika ma inne nabiegunki podzielone na 50 zębów o tej samej szerokości co wirnik. Ważne jest, aby nabiegunki wirnika (a tym samym i zęby) były obrócone względem siebie, tak aby w stosunku do osi zęby jednego są osiami rowków drugiego (są przesunięte w fazie o połowę odstępu rowków wirnika).

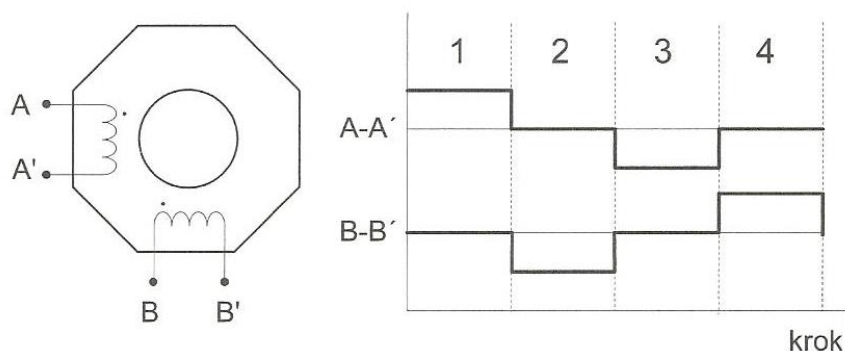


Rys. 25. Sekcja hybrydowego silnika krokowego o kącie kroku $1,8^{\circ}$

Opis działania. Gdy żaden prąd nie przepływa przez żadne z uzwojeń fazowych stojana, strumień magnetyczny jest tworzony tylko przez magnes trwały, a wirnik jest blokowany przez to pole magnetyczne w określonej pozycji spoczynkowej. Łącznie 8 cewek jest podłączonych do uzwojenia dwufazowego. Cewki na nabiegownikach 1, 3, 5 i 7 tworzą fazę A, natomiast cewki na pozostałych nabiegownikach reprezentują

uzwojenie fazowe B. Gdy dodatni prąd przepływa przez fazę A, bieguny 1 i 5 stojana są namagnesowane na południu, a bieguny 3 i 7 na północy. Zęby na północnym końcu wirnika są przyciągane przez bieguny 1 i 5, podczas gdy przesunięte zęby na południowym końcu wirnika są przyciągane przez zęby na biegunach 3 i 7.

Aby wirnik obrócił się o jeden krok, uzwojenie fazowe A przestaje podawać, a faza B zaczyna dostarczać prąd o biegunowości dodatniej lub ujemnej - w zależności od pożądanego kierunku obrotu wału. Wał obraca się zatem (kroki) z powodu przełączania (wzbudzenia) faz w sekwencji + A, -B, -A, + B, + A (zgodnie z ruchem wskazówek zegara - patrz rys. 26) lub + A, + B, -A, -B, + A (w odwrotnym sensie).

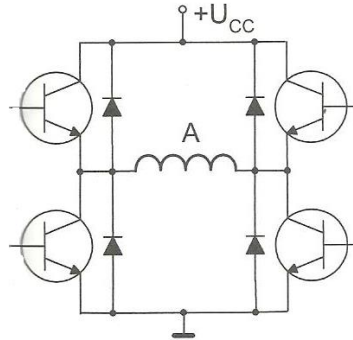


Rys. 26. Uzwojenie dwufazowego hybrydowego KM z dwubiegunowym połączeniem faz. Sterowanie dwufazowego hybrydowego KM (wzbudzenie bipolarne z jednofazowym namagnesowaniem)

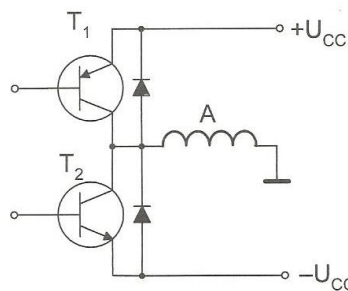
Wynika z tego również jasno, że konieczne jest wzbudzenie poszczególnych faz dwubiegunowo. Ten tryb pracy nazywa się: dwufazowy z zasilaniem bipolarnym. Oprócz najczęściej spotykanych dwufazowych, istnieją również wielofazowe hybrydowe KM. Zaletą tych silników jest większa liczba kroków na obrót, a tym samym dokładność. Wadą jest zastosowanie bardziej skomplikowanych obwodów wzbudzenia, a także cena.

Dwufazowy hybrydowy silnik krokowy zawiera zatem dwie fazy. Jak wspomniano powyżej, fazy te musimy wzbudzać dwubiegunowo, tzn. oprócz wzbudzenia danej fazy musimy zapewnić także zmianę polaryzacji przepływającego prądu (napięcie wzbudzenia). Zmieniając biegunowość prądu, faktycznie zmieniamy kierunek strumienia magnetycznego generowanego przez uzwojenie fazowe - w odniesieniu do biegunowości przepływającego prądu i kierunku uzwojenia fazowego. Biegunowość płynącego prądu jest najczęściej sterowana za pomocą H-mostkowego wyłącznika z zasilaniem jednobiegunowym - rys. 27, obecnie rzadko za pomocą prostych wyłączników, ale z koniecznością posiadania źródła bipolarnego - rys. 28. Ponieważ jednak kierunek strumienia magnetycznego jest również zależny od kierunku uzwojenia

fazowego, możliwa jest zmiana kierunku strumienia magnetycznego w ten sposób bez konieczności stosowania przełącznika mostkowego lub dwubiegunowego zasilacza. Taki silnik hybrydowy ma wtedy każdą fazę podzieloną na dwie części - połówki.



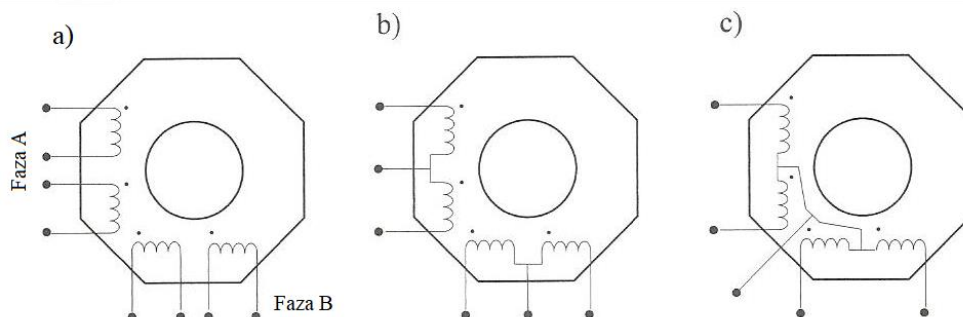
Rys. 27. Wzbudzenie bipolarne z jednobiegunowego źródła napięcia - za pomocą mostka H



Rys. 28. Wzbudzenie bipolarne z bipolarnego źródła napięcia

W zależności od tego, jak poszczególne końce tych połówek uzwojeń są wyprowadzone z silnika, taki (dwufazowy) KM ma albo - patrz rys. 29:

- osiem przewodów (każda połowa fazy jest poprowadzona osobno),
- sześć przewodów (dwa i dwa końce obu uzwojeń plus dwa oddzielne środki),
- lub pięć przewodów (dwa i dwa końce obu uzwojeń plus ich połączone środki).



Rys. 29. Możliwe połączenia uzwojenia dwufazowego, hybrydowego KM z jednobiegunowym połączeniem fazowym

Najbardziej uniwersalna możliwość podłączenia uzwojenia fazowego dotyczy wszystkich jego części. Jeśli wzbudzamy KM dwubiegunowo, możemy łączyć poszczególne połówki fazy szeregowo lub równoległe. W połączeniu szeregowym - rys. 29b wypadkowa rezystancja uzwojenia i indukcyjność są czterokrotnie wyższe niż w połączeniu równoległym. Powoduje to, że wielkość momentu obrotowego jest wyższa w obszarach krokowych o niższej częstotliwości kroku. Odwrotnie jest przy połączeniu równoległym (rys. 29c), nadaje się do zastosowań pracujących w obszarach o wyższych częstotliwościach krokowych. W połączeniu szeregowym spadek momentu obrotowego w obszarach wyższych częstotliwości taktowania powoduje jego zwiększoną rezystancję w obwodzie przerywacza (przy zasilaniu tym samym napięciem zarówno dla połączenia równoległego, jak i szeregowego).



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

6. Podsystem sensoryczny robota mobilnego

Projektowanie podsystemu czujników jest złożonym procesem, w którym należy wziąć pod uwagę wiele czynników, biorąc pod uwagę nie tylko właściwości czujników, ale także środowisko pracy robota, możliwość interakcji czujników, wymagania dotyczące możliwości obliczeniowych systemu sterowania itp.

Projektując ten podsystem, należy podzielić rozwiązanie na kilka kroków, w których poszczególne części są stopniowo adresowane z uwzględnieniem pozostałych. Podsystem ten można podzielić na dwie podstawowe części. Pierwsza część składa się z własnych czujników i ich urządzeń operacyjnych. Druga część realizuje komunikację pomiędzy poszczególnymi podsystemami robota. Składa się z obwodów interfejsowych i magistrali utworzonej przy użyciu różnych mediów transmisyjnych. W przypadku robota mobilnego najbardziej odpowiednią kombinacją są kable elektryczne w robocie (magistrala wewnętrzna) oraz komunikacja bezprzewodowa z systemami nadrzędnymi.

Przy doborze środków komunikacji warto wybrać interfejs komunikacyjny, który umożliwia podłączenie jak największej liczby wykorzystywanych czujników bez konieczności przebudowy interfejsu. Przy wyborze magistrali należy wziąć pod uwagę oczekiwany przepływ danych w obu kierunkach oraz liczbę podłączonych urządzeń. Odporność magistrali i medium transmisyjnego na zakłócenia jest znaczna. Nieodpowiednie właściwości mogą znacznie ograniczyć funkcje tego podsystemu i możliwość jego dalszej rozbudowy.

Czujniki można podzielić w zależności od stosunku do robota na wewnętrzne - parametry pomiarowe robota i zewnętrzne - parametry pomiarowe środowiska robota. Zastosowane czujniki mogą pełnić wiele funkcji, ale z punktu widzenia samego robota ważne są tylko czujniki wykorzystywane do nawigacji i diagnostyki robota. Każdy robot mobilny powinien być wyposażony w te czujniki.

Do najprostszych należą czujniki potrzebne do wykrywania przeszkód reprezentowane przez czujniki dotykowe (czujniki dotykowe) lub czujniki bezdotykowe (zwykle czujniki podczerwieni i sonar). Ich zadaniem jest zapobieganie kolizjom z obiektami wokół robota lub utrzymanie wymaganej odległości od tych obiektów. Jest to zadanie nawigacji lokalnej, która jest nadrzędna w stosunku do globalnej podczas przemieszczania robota. W tym przypadku czujniki dostarczają systemowi sterowania informacje o kształcie i położeniu obiektów wokół robota.

Inne typy czujników są określone zgodnie z wymaganiami konkretnego zastosowania robota (np.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

pomiar temperatury, analiza gazu, pomiar wilgotności powietrza, itp.).

Aby system sterowania mógł wykonywać oba zadania, czujniki muszą dostarczać mu w odpowiednim czasie niezbędne informacje z wymaganą dokładnością i niezawodnością. Dlatego przy wyborze czujników nawigacyjnych należy wziąć pod uwagę nie tylko ich właściwości, ale także wyczerpujące informacje o robocie, jego przeznaczeniu i właściwościach otoczenia. Dopiero na podstawie tych informacji można zaprojektować podsystem czujników tak, aby nie ograniczać funkcjonalności robota i umożliwić jego dalszy rozwój.

Czujniki robota można podzielić na dwie podstawowe grupy w zależności od relacji do otoczenia robota. Są to czujniki wewnętrzne służące do pomiaru parametrów podsystemów robota. W celach diagnostycznych jest to np. stan baterii, monitorowanie komunikacji, kontrola temperatury robota. Dla nawigacji są to informacje o podsystemie działania, czyli położeniu, prędkości i przyspieszeniu poszczególnych napędów lub elementów wyjściowych (koła,...). Czujniki zewnętrzne służą do pozyskiwania informacji o otoczeniu robota, dla celów nawigacyjnych są to głównie informacje o położeniu i orientacji robota w globalnym układzie współrzędnych oraz lokalizacji obiektów w jego sąsiedztwie. W zależności od metody pomiaru czujniki zewnętrzne można dalej podzielić na czujniki dotykowe i bezdotykowe. Ekran dotykowy są w stanie mierzyć tylko poprzez kontakt z obiektem, co znacznie ogranicza ich zasięg. Bezkontaktowo wykorzystuje się do pomiaru różne promieniowanie, najczęściej fale akustyczne, optyczne lub elektromagnetyczne. Dzięki temu ich zasięg jest znacznie wyższy, w zależności od stosowanej zasady działania. Do wykorzystania przez roboty mobilne zakres ten jest zwykle ograniczony do odpowiedniego limitu, biorąc pod uwagę zużycie czujnika i możliwość wykorzystania uzyskanych informacji. Na przykład systemy radarowe mogą sięgać setek kilometrów, ale takie informacje nie miałyby znaczenia dla robotów mobilnych. Dlatego do wymagań robotów najczęściej stosuje się radary, których zasięg nie przekracza jednostek do kilkudziesięciu metrów. Jest to wystarczające do poruszania się w środowisku zewnętrznym, nawet przy wyższych prędkościach. W środowisku wewnętrznym ten zasięg jest niepotrzebnie duży, zwłaszcza ze względu na znacznie mniejsze środowisko i dużą gęstość przeszkód. Wykorzystywany jest tutaj radar o bardzo krótkim zasięgu rzędu metrów.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

6.1. Sensory wewnętrzne

Czujniki wewnętrzne dostarczają robotowi informacji o jego podsystemach. W celach diagnostycznych obejmuje to stan baterii, monitorowanie komunikacji i kontrolę temperatury robota. Do celów nawigacyjnych są to informacje o podsystemie działania, którym zazwyczaj jest położenie i prędkość poszczególnych napędów lub członów wyjściowych. Na podstawie tych informacji system sterowania jest następnie w stanie wykorzystać model kinematyczny do określenia wpływu tych wartości na ruch robota. Ten system może być używany tylko z robotami naziemnymi, gdzie zapewniony jest stały kontakt z podłożem bez poślizgu. Jeśli tak nie jest, użycie tych czujników do nawigacji ma jedynie charakter orientacyjny.

Sterowanie położeniem i/lub prędkością wymaga informacji o stanie wału silnika. Czujniki prędkości lub położenia silnika są połączone z wałem silnika, eliminując podatność przekładni i luzy wynikające ze sprzężenia zwrotnego układu kierowniczego. Regulacja prędkości może pracować z sygnałem tachoprądnicy zapewniającym najwyższą dokładność sterowania lub z sygnałem cyfrowego czujnika kąta z dokładnością zależną od dzielenia lub bez czujnika prądową metodą pomiaru RxI, która jest najmniej dokładna, ale z drugiej strony bodaj najtańsza. Ta metoda pomiaru prędkości opiera się na pomiarze napięcia u_{mf} generowanego przez obracający się silnik, który pełni rolę generatora (tachoprądnicy). Sterowanie położeniem działa z sygnałem cyfrowym, zwykle inkrementalnego enkodera.

6.1.1. Czujniki obrotu

Są to czujniki analogowe i cyfrowe. Analogowe wykorzystują do pomiaru zmianę wielkości elektrycznej. Zgodnie z tym dzielą się na rezystancyjne, indukcyjne i pojemnościowe. Czujniki analogowe służą do pomiaru ograniczonego kąta obrotu i dlatego ich wykorzystanie przez robota mobilnego jest ograniczone. Są one częściej wykorzystywane w technologii cyfrowej, zwłaszcza dla nieograniczonego zakresu mierzonego obrotu i bezdotykowej metody pomiaru. Zgodnie z metodą pomiaru rotacji można je podzielić na przyrostowe (inkrementalne) i bezwzględne.

Czujnik przyrostowy. Czujniki przyrostowe są zwykle używane w systemach sterowania ze sprzężeniem zwrotnym położenia, prędkości i ewentualnie przyspieszenia w różnych zastosowaniach, od komputerowych urządzeń peryferyjnych, przez robotykę przemysłową po technologię medyczną.

Czujniki przyrostowe charakteryzują się wysoką rozdzielczością, niewielkimi rozmiarami i niewielką wagą. Nazwa inkrementalna zaczerpnięta jest z zasady działania, opartej na obracającym się pierścieniu

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ

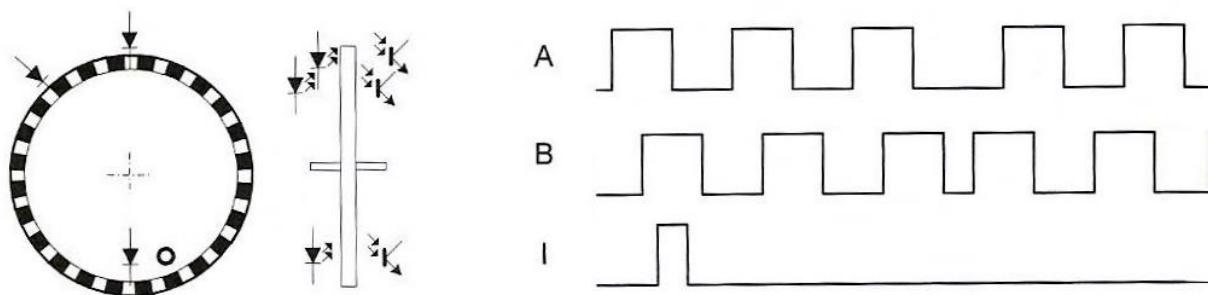


Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



pośrednim z regularnie naprzemiennymi liniami przezroczystymi i nieprzezroczystymi, które podczas obrotu przerywają emitowane światło diody LED umieszczonej po jednej stronie tego pierścienia pośredniego, (rys. 30).



Rys. 30. Zasada działania optycznego czujnika przyrostowego, w tym już wyregulowany wyjściowy sygnał prostokątny (dodatkowo pokazujący zmianę kierunku obrotów)

Światło to jest wykrywane przez fototranzystory, znajdujące się po drugiej stronie pierścienia, naprzeciw diody LED. W ścieżce optycznej między źródłem światła a odbiornikiem większość czujników zawiera nieruchomy dysk kamuflażowy z liniami o tym samym skoku co dysk ruchomy.

Światło ze źródła przechodzi przez przezroczyste linie poruszającego się dysku. Jeśli przezroczyste linie ruchomego dysku i przezroczyste linie segmentu dysku stałego kamuflażu są w jednej linii, maksymalny strumień świetlny pada na fotoczujnik. Jeśli przezroczyste linie poruszającego się dysku i nieprzezroczyste linie nieruchomego segmentu dysku są zasłonięte, światło nie przechodzi, a strumień świetlny na fotoczujniku jest minimalny. Pomiędzy tymi pozycjami strumień świetlny zmienia się wprost proporcjonalnie do przemieszczenia dwóch dysków. Sygnał wyjściowy fotoczujnika ma okres odwrotnie proporcjonalny do liczby linii na obrót i prędkości obrotowej poruszającego się dysku.

Jeżeli konieczne jest również rozróżnienie kierunku obrotu, maskownica czujnika położenia musi być wyposażona w drugi segment z liniami przesuniętymi o kąt względem linii pierwszego segmentu:

$$\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{2\pi}{n} \quad (20)$$

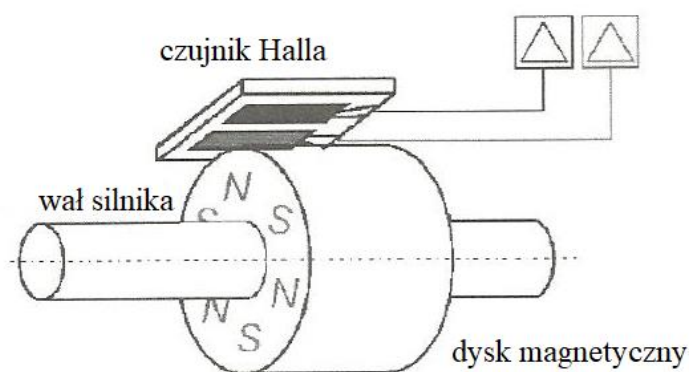
gdzie: n to liczba szczelin na obrót, a k to liczba całkowita. Ten segment zawiera drugi fotoczujnik, który wykrywa przesunięty w fazie strumień świetlny. Sygnał z pierwszego fotoczujnika oznaczono jako A, sygnał z drugiego fotoczujnika B (rys. 30).

Wykrywając zmianę fazy tych dwóch sygnałów A i B uzyskujemy informację o zmianie kierunku obrotów. Sygnały te są również nazywane kwadraturą. Dla kompletności dodajmy, że wirujący dysk jest czasem uzupełniany o jeden otwór (linia przezroczysta), kolejne źródło światła oraz fotosensor, który wykrywa tzw. pozycję początkową (referencyjną, zerową) i generuje jeden impuls na obrót. Sygnał ten nazywany jest zerem, impulsem indeksującym lub odniesieniem. Oprócz wykorzystania tych informacji do zbliżenia się do pozycji wyjściowej, sygnał ten może być również wykorzystany do wykrycia skumulowanego błędu pozycji spowodowanego przez sygnały zakłócające przy średniej prędkości.

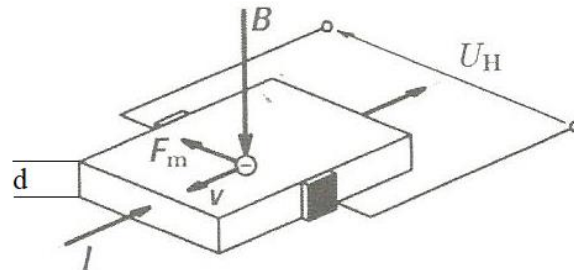
W przypadku niektórych czujników IRC ich wyjście kwadraturowe jest uzupełniane sygnałami komplementarnymi A i B. Powodem jest dążenie do zwiększenia odporności sygnałów wyjściowych na zakłócenia, zwłaszcza przy dłuższych liniach (za pomocą sterowników z wyjściem różnicowym - zazwyczaj zgodnych z RS422), a także możliwość wykrywania przerw w linii lub awarii zasilania.

Czujniki przyrostowe obejmują również często używany czujnik wykorzystujący sondę Halla (rys. 31). Wykorzystywany jest tak zwany efekt Halla - wytwarzanie napięcia elektrycznego U_h po bokach materiału przewodzącego, przez który przepływa prąd I i działa na niego indukcja magnetyczna B .

To napięcie U_h jest wprost proporcjonalne do prądu I , indukcji magnetycznej B i odwrotnie proporcjonalne do grubości taśmy d .



Rys. 31. Czujnik magnetyczny z efektem Halla

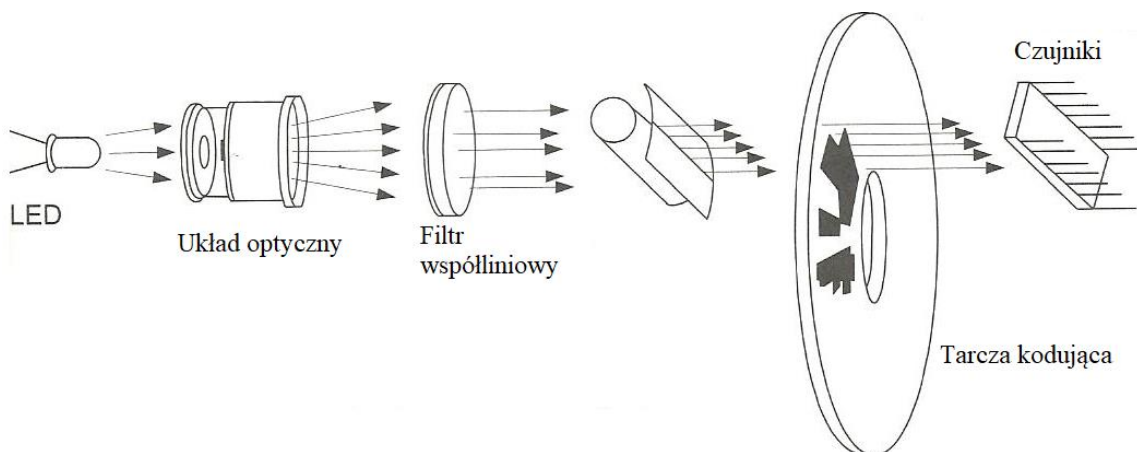


Rys. 32. Zjawisko Halla

$$U_h = \tilde{R} \frac{IB}{d} \quad (21)$$

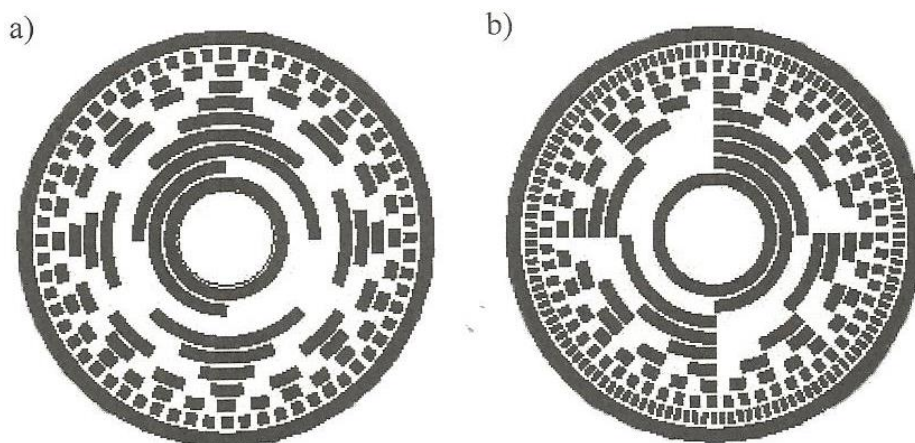
Stała Halla R ma wartość dodatnią dla niektórych przewodników i wartość ujemną dla innych.

Czujnik absolutny. Ten typ czujnika wykorzystuje bardziej skomplikowany rodzaj kodowania niż przyrostowy i wymaga większej liczby elementów czujnikowych (rys. 33). Zaletą tego czujnika jest to, że wartość wyjściowa z czujnika wskazuje bezwzględną wielkość obrotu w zakresie od 0 do 360°. Dla wyższych prędkości jest wyposażony w licznik zwiększający prędkość koła kodowego. Zawartość tego licznika wraz z kodem aktualnej pozycji koła kodowego podzespołu stanowi wówczas bezwzględne wskazanie pozycji obrotu. Zasada kodowania polega na tym, że wiązka wiązek optycznych jest kodowana przez dysk optyczny, a czujniki rejestrujące te wiązki są rozmieszczone tak, że ich wyjściem jest bezpośrednio cyfrowa informacja o położeniu w wartości binarnej.



Rys. 33. Czujnik absolutny

Rzeczywisty dysk kodujący istnieje w kilku wersjach (rys. 34). Ich funkcja jest identyczna, ale lewy wariant (rys. 34a) wykorzystuje kod Graya (lustrzane) zamiast klasycznego kodowania binarnego (rys. 34b). Jego zaletą jest większa odporność na błędy, ponieważ kod sąsiedniego numeru zawsze różni się maksymalnie o jeden bit.



Rys. 34. Enkodery absolutnego kodu obrotu, a) kodowanie Graya, b) kodowanie binarne

Tachometry. Są to czujniki przeznaczone do pomiaru prędkości obrotowej. Do napędów robotów najczęściej stosuje się tachometry indukcyjne i impulsowe. W konstrukcji indukcyjnej najczęściej stosuje się obrotomierze elektrodynamiczne. W zależności od napięcia wyjściowego rozróżniamy tachoprądnice (prąd stały) i alternatory tacho (prąd przemienny). Impulsy mierzą częstotliwość rejestrowania znaku na szpuli. Najczęstsze konstrukcje tych czujników to optyczne i indukcyjne. Czujniki obrotu również mogą pełnić tę funkcję – i często to robią, bezpośrednio poprzez wyprowadzenie zmiany rotacji.

Tachoprądnica to mały silnik komutatorowy z magnesami trwałymi i napięciem wyjściowym wprost proporcjonalnym do prędkości. Miara jakości jest tętnienie napięcia wynikające ze skończonej liczby łopatek komutatora, sztywność połączenia z silnikiem oraz moment bezwładności wirnika tachoprądnicy.

Lokalizacja tych czujników na napędzie jest bardziej odpowiednia po stronie silnika, gdy używana jest skrzynia biegów. W układach sterowania napędami silników prądu stałego niskiej jakości (jakości prędkościowej) stosuje się również pomiar powrotnego napięcia elektromotorycznego generowanego przez silnik, który jest wprost proporcjonalny do prędkości (o czym wspomniano wcześniej).

6.2. Czujniki zewnętrzne

Służą do uzyskiwania informacji o otoczeniu robota. W zależności od metody pomiaru można wyróżnić dwie podstawowe grupy czujników:

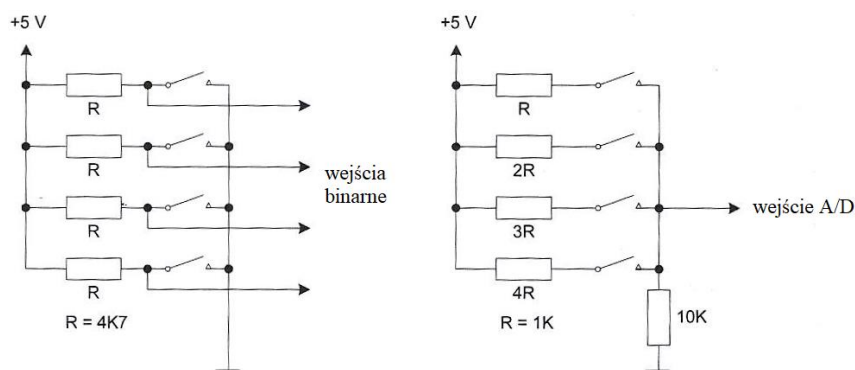
1. pasywne, oceniające tylko odbierane promieniowanie z otoczenia
2. aktywne, oceniające własne promieniowanie odbite.

Z punktu widzenia samego robota istotne są tylko czujniki wykorzystywane do jego nawigacji. Dzieli się ją na nawigację globalną i lokalną. Zadaniem nawigacji globalnej jest wyznaczenie pozycji i orientacji robota względem zastosowanego globalnego układu współrzędnych. W większości przypadków wartość zmierzona przez czujnik nie znajduje się bezpośrednio w pozycji i nie została jeszcze obliczona.

6.2.1. Czujnik dotykowy

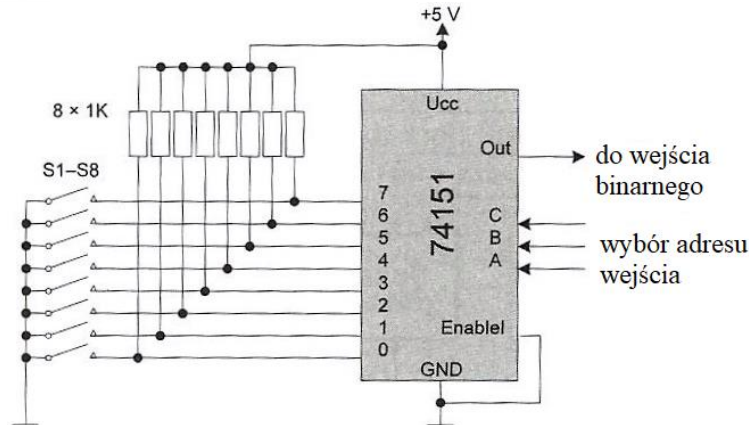
Jest to najprostsza wersja czujnika, najczęściej realizowana za pomocą przełącznika stykowego. Poprzez aktywację przełącznika - poprzez dotknięcie przeszkody - obwód elektryczny jest włączany/wyłączany i zmienia się poziom logiczny, który jest dalej oceniany. Tak zaprojektowane połączenie czujnika dotykowego wymaga podłączenia każdego przełącznika z osobna (Rys. 35).

Jeśli przełącznik nie jest aktywowany, na odpowiednim wyjściu występuje wysoki poziom logiczny, gdy jest aktywowany, na wyjściu występuje niski poziom. Wybrane w ten sposób poziomy pozwalają na podłączenie wejścia bezpośrednio do wejścia przerwania danego mikrokontrolera (mikroprocesora), ponieważ zwykle jest ono aktywne na poziomie logu 0, czyli tylna krawędź.



Rys. 35. Podłączenie czujników dotyku

Przy ograniczonej liczbie wejść binarnych przełączniki można również podłączyć za pomocą multiplexera (rys. 36).



Rys. 36. Podłączenie za pomocą multiplexera

Następnie testujemy poszczególne czujniki, kolejno adresując ich wejścia. Do tak zaprojektowanego podłączenia czujnika potrzebne jest jedno wejście binarne (wyjście multiplexera) oraz wyjścia binarne do zaadresowania jednego z 2 wejść multiplexera. Dzięki temu połączeniu możliwe jest rozróżnienie jednoczesnej aktywacji wielu czujników.

Jeżeli układ sterowania nie posiada wystarczającej liczby wejść binarnych a posiada wejście analogowe (przetwornik A/C) istnieje możliwość przełączania sieci rezystancyjnej czujnikami dotykowymi np. o konstrukcji wg rys. 35, która tworzy dzielnik napięcia. Na podstawie napięcia dzielnika rezystancji można jednoznacznie określić, który przełącznik (przełączniki) został aktywowany.

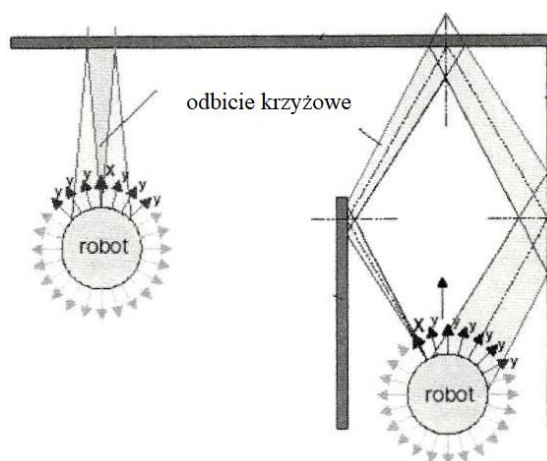
Do czujników dotykowych zaliczamy również tensometry i czujniki oparte na efekcie piezoelektrycznym. Tego typu czujniki (w odpowiednim połączeniu) zapewniają ciągły sygnał i są wykorzystywane np. w konstrukcji rękawic 3D.

W przypadku braku wystarczającej ilości wejść binarnych istnieje możliwość zastosowania ekspandera portów z interfejsem magistrali I²C. Ta magistrala używa tylko dwóch sygnałów oznaczonych SCL i SDE.

6.2.2. Sonary

Zasada pomiaru odległości do przeszkody opiera się na zasadzie pomiaru czasu pomiędzy wysłaniem sygnału akustycznego a odebraniem odbitego sygnału akustycznego – echa. Najczęściej spotykane częstotliwości sygnału akustycznego to wartości powyżej 40 kHz. Takie czujniki nazywane są sonarami ultradźwiękowymi lub tylko sonarami. Ze względu na stosunkowo małą prędkość dźwięku (w powietrzu) czas

pomiędzy wysłaniem a odbiorem sygnału jest znacznie dłuższy niż w przypadku czujników radarowych, laserowych, a także podczerwieni. Dzięki temu stosunkowo wysoką dokładność pomiaru można osiągnąć nawet bez ekstremalnych wymagań wobec obwodów analizujących. W efekcie ich cena jest stosunkowo niska, ale okres pomiaru jest dłuższy (0,1 s). Wadą jest duże tłumienie sygnału ultradźwiękowego, które ogranicza praktyczny zasięg do kilkudziesięciu metrów, zwykle do około 10 m. Ze względu na stosunkowo duże rozproszenie tego sygnału nie jest możliwe dokładne wykrycie przeszkody będącej pod kątem względem pozycji kątowej robota. Co więcej, tak zwane odbicie krzyżowe jest powszechnym zjawiskiem (rys. 37).

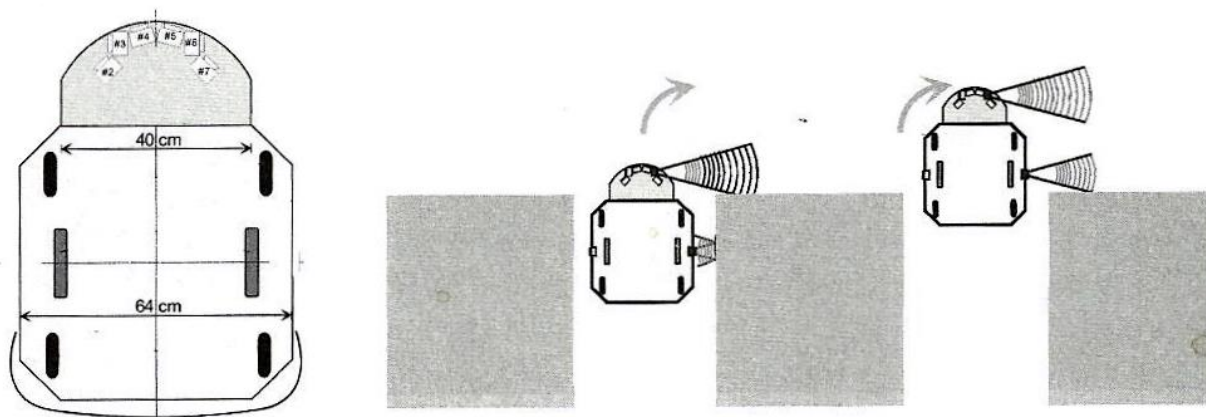


Rys. 37. Problem odbicia sygnału akustycznego przy równoległym działaniu wielu czujników

Wiąże się to z rejestracją odbicia sygnału wysłanego przez inny czujnik, co unieważnia sam pomiar. Problem rozwiązuje seryjny pomiar tych czujników z opóźnieniem, gwarantującym tłumienie sygnału poprzedniego pomiaru. Efekt ten może być również ograniczony przez odpowiednią orientację tych czujników, tak aby ryzyko odbioru odbitego sygnału było jak najmniejsze, a czujniki spełniały wymaganą funkcję. Innym problemem jest odbicie sygnału ultradźwiękowego, który uderza w gładką powierzchnię przeszkody pod ostrym kątem (tzw. odbicie lustrzane). W takim przypadku sygnał odbija się dalej od sonaru i odbija się od bardziej odległej przeszkody. Echosonda następnie wykrywa bardziej odległą przeszkodę. Dlatego opóźnienie między poszczególnymi pomiarami powinno być większe niż opóźnienie odpowiadające maksymalnemu zasięgowi sonaru.

Nie bez znaczenia jest również wpływ temperatury powietrza na prędkość rozchodzenia się dźwięku. Dotyczy to temperatury $t = 0^{\circ}\text{C}$; $v = 331 \text{ m/s}$ i dla $t = 25^{\circ}\text{C}$; $v = 343 \text{ m/s}$.

Kolejną ważną rzeczą jest rozważenie umieszczenia sonaru na robocie. Powinno to być oparte na zamierzonym rozmieszczeniu robota. Przykład rozwiązania odpowiedniego dla robota poruszającego się po korytarzach pokazano na rys. 38.



Rys. 38. Wykorzystanie czujników ultradźwiękowych do nawigacji lokalnej

Ich lokalizacja pozwoli na wykonywanie zadań takich jak monitorowanie ściany, jazdę korytarzem i omijanie przeszkód. Czujniki znajdują się w specjalnej głowicy pomiarowej przed robotem. Są zorientowane na pomiar przestrzeni w zakresie około 180°. Zaletą tego rozwiązania jest to, że robot uzyskuje informację, jeśli znajdzie narożnik (wypukły/wklęsły) wcześniej niż z sonaru znajdującego się na obwodzie robota. Ze względu na to, że jest to robot sterowany różnicowo, manewr wykonywany po wykryciu tej wolnej przestrzeni przez te czujniki doprowadziłby do kolizji z krawędzią. Dlatego na robocie znajdują się jeszcze dwa czujniki umieszczone na poziomie głównych kół. Służą one do zmiany trajektorii. Problem można również rozwiązać za pomocą oprogramowania wykorzystującego system sterowania i nawigację, określając odległość przebyta od narożnika, wzdłuż której można zmienić kierunek. Inną opcją jest użycie sonaru o różnych częstotliwościach sygnału ultradźwiękowego.



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

7. Podsystem sterowania robota mobilnego

System sterowania (RS) robota mobilnego wraz z programem stanowi „mózg” robota. Jego część sprzętowa musi mieć możliwość jakościowego i ilościowego odczytywania informacji z podsystemu czujników. Należy uwzględnić przeznaczenie robota mobilnego temperatura pracy, wilgotność i wibracje.

Inne wymagania, które będą miały wpływ na koncepcję systemu sterowania, to to, co system powinien kontrolować: na przykład, w tym pełne sterowanie napędami. W przypadku konwencjonalnych silników prądu stałego będzie to również wymagało odczytania danych enkodera, obliczenia sterowników i wygenerowania zmiennej działania – wszystko to w stosunkowo krótkim okresie, rzędu milisekund.

Czynnością, którą musi zapewnić system sterowania, jest również sterowanie niektórymi rodzajami czujników. To samo dotyczy prostszego sonaru, który dostarcza informację o odległości do przeszkody w postaci impulsu, którego długość musimy zmierzyć. W przypadku przetwarzania obrazu są to również operacje obliczeniowe i wymagające dużej ilości pamięci. Wszystkie te wymagania można rozwiązać w wielu typach i konfiguracjach systemów sterowania.

Do parametrów wpływających na wybór typu układu sterowania zalicza się również jego wymiary, wagę, zużycie, czy zawiera części ruchome (dysk twarde), wielkość napięcia zasilającego i oczywiście cenę. Przy wyborze należy wziąć pod uwagę jego rozbudowę oraz cenę narzędzi do tworzenia sprzętu i oprogramowania.

Z jednej strony może to być komputer osobisty, czy to w postaci klasycznego komputera biurowego, czy laptopa, poprzez jakąś przemysłową odmianę komputera PC - tzw. IPC (Industrial PC).

7.1. System sterowania z komputerem PC

Można tu wymienić zestawy małych modułów PC 104 (od 1992 standaryzowane przez międzynarodowy standard IEEE966.1) o wymiarach 91 x 91 mm i wysokości 15 mm. Jedną z zalet tego zestawu jest dostępność modułów do pracy w ekstremalnych warunkach termicznych. Np. seria modułów CMH PC/104 amerykańskiego producenta Real Time Devices ma gwarantowany zakres temperatur pracy od -40 do +85°C.

W obszarach wymagających ekstremalnie małych gabarytów jednostki sterującej możliwe jest zastosowanie modułu DIMM-PC, który wyposażony jest w procesor kompatybilny z 180x86. Zgodnie z

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ

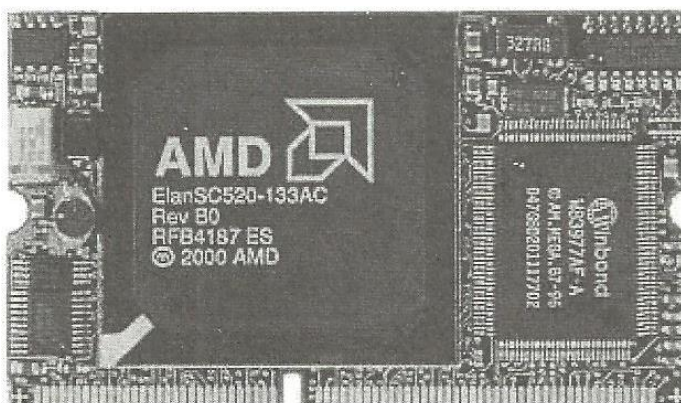


Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



definicją w standardzie DIMM-PC, moduł komputera ma wymiary 68 x 40 mm i ma grubość 6 mm (łącznie z komponentami). Waga wynosi około 20 gramów. Na rys. 39 pokazano moduł DIMM-PC/520 wyposażony w mikroprocesor AMD 586/133 MHz, 32 MB DRAM i 32 MB Flash disk. Moduł wyposażony w wspólne interfejsy: 2 linie szeregowy TTL, LPT, klawiatura i FDD, opcjonalnie USB lub 10/100Mb Ethernet.



Rys. 39. Moduł DIMM-PC/520

Tak zwane kontrolery PC są również stosunkowo rozpowszechnione. Sterownik PC charakteryzuje się maksymalną prostotą i minimalnymi wymiarami, ale z naciskiem na solidność. Pod względem sprzętowym rdzeń składa się z procesora zgodnego z Intel 8086, Intel 80186 lub V20. Nie zawiera żadnego gniazda rozszerzeń ani interfejsu dla elastycznego i twardego dysku, ani nie zawiera kontrolera dla karty graficznej. Pamięć operacyjna jest zwykle ograniczona do 1 MB i składa się z części ROM (system operacyjny MSDOS), części EEPROM (przechowywanie programów użytkownika) oraz części RAM. Komunikacja z otoczeniem odbywa się zazwyczaj przez interfejsy RS232C i RS485 lub CAN. Ładowanie programu użytkownika jest zazwyczaj zapewniane w tym celu przez dedykowany interfejs RS232C (najczęściej COM1).

Oprócz powyższych konstrukcji, płyty procesorowe są również produkowane przez różnych producentów o nazwie Embedded PC, BiscuitPC (5,25" i 3,5"), POS (Point Of Salt), POI (Point Of Information), płyty SOM (System On Module - produkowane przez Advantech) itp. W zasadzie są to niewielkie płyty główne, zwykle bez wolnego gniazda ISA/PCI, z dyskiem półprzewodnikowym, ale wyposażone w bogaty interfejs.

Te interfejsy to zazwyczaj:

- szeregowy (do czterech) USB,



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

*Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin*

- równoległy,
- Ethernet,
- IDE, FD,
- LCD VGA,
- klawiatura
- kilka cyfrowych linii I/O,
- dla większych często jedno wolne gniazdo PC 104 do ewentualnej rozbudowy.

Typowe zastosowania to kasy fiskalne, automaty do kart, panele informacyjne itp. Wspomniane rozwiązania są w większości kompatybilne z komputerami PC z małymi modułami na poziomie DOS, lub mikroprocesorem x86 aż do większych modułów po powszechnie stosowanym systemie operacyjnym na komputerach biurowych. Skutkuje to korzyścią korzystania z zaawansowanych narzędzi programistycznych używanych na zwykłych komputerach PC lub niezawodnych i popularnych narzędzi programistycznych, które były używane w systemie DOS (Turbo C, TurboPascal itp.) Kolejną zaletą koncepcji systemu sterowania opartego na komputerach PC jest standardowe wsparcie dla różnych interfejsów komunikacyjnych i protokołów.

Kolejną grupę systemów sterowania stanowią różne zestawy zbudowane na mikrokomputerach lub mikrokontrolerach. Oferta jest w tym zakresie bardzo szeroka i zaczyna się od wciąż używanych 8-bitowych, poprzez 16-bitowe, aż po 32-bitowe mikrokomputery.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

8. Nawigowanie robota mobilnego

Jeśli wymagamy od robota mobilnego nawet najprostszej zdolności do autonomicznego zachowania – na przykład ruchu w określonym kierunku, robot musi być wyposażony w podsystem nawigacyjny. Typowe zadania nawigacyjne obejmują dostarczanie informacji potrzebnych do przejścia z punktu początkowego do miejsca docelowego. Zadanie ograniczone jest szeregiem warunków, z których podstawowym jest unikanie kolizji z przeszkodami. Inne warunki mogą dotyczyć minimalnego czasu, a także minimalnej przebytej odległości. Do określenia optymalnej trajektorii wykorzystuje się różne algorytmy planowania, które rozwiązują ruch robota w przestrzeni oraz przeszkody w jej sąsiedztwie. Aby układ sterowania mógł określić odpowiednią trajektorię, musi uzyskać odpowiednie informacje z podukładu czujników. Jest to pozycja i orientacja robota w stosunku do globalnego lub lokalnego układu współrzędnych oraz kształt otoczenia robota. Sam system nawigacji jest zwykle podzielony na dwa poziomy.

Globalnym zadaniem jest przetransportowanie robota od punktu startowego do punktu docelowego, np. pod kątem osiągnięcia optymalnej trajektorii. Termin **globalny układ współrzędnych** nie musi być rozumiany jako globalny, ale jako układ współrzędnych wybrany tak, aby obejmował całą przestrzeń roboczą robota, taką jak pomieszczenie. Dla uproszczenia często jest zorientowany w ten sam sposób, co północ geograficzna.

Nawigacja lokalna ma pierwszeństwo przed globalną, a jej zadaniem jest zapobieganie i rozwiązywanie kolizji z otaczającymi obiektami. Lokalny system nawigacji zwykle działa w układzie współrzędnych robota i przetwarza informacje o przeszkodach w ograniczonej odległości od robota. Można powiedzieć, że odległość ta musi być taka, aby dać układowi sterującemu wystarczająco dużo czasu na niezawodne zidentyfikowanie przeszkód i określenie trajektorii bezkolizyjnej z uwzględnieniem fizycznych możliwości robota. Z powyższego jasno wynika, że nie tylko ich właściwości, ale również parametry robota i charakter jego środowiska pracy mają istotny wpływ na dobór czujników.

8.1. Globalne systemy nawigacji

Problem nawigacji globalnej polega na określeniu położenia i orientacji robota względem globalnego układu współrzędnych. Po ustaleniu tej pozycji układ sterowania przejmuje zadanie, wyznaczając z uzyskanych wartości optymalną trajektorię. Do określenia położenia robota wykorzystywane są różne metody, które można podzielić na dwa typy w zależności od typu globalnego układu współrzędnych.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

Jest to nawigacja względna z wykorzystaniem parametrów mierzalnych na robocie i bez bezpośredniego związku z otoczeniem w celu określenia pozycji. Początek globalnego układu współrzędnych jest zwykle taki sam jak punkt początkowy (pozycja robota). Wykorzystując te parametry, system sterowania określa zmianę położenia względem punktu początkowego. Problem z tymi metodami nawigacji polega na tym, że są one zwykle obciążone rosnącym błędem pozycji, więc są – jeśli to możliwe – zwykle połączone z bezwzględnym systemem nawigacji.

Nawigacja bezwzględna określa pozycję robota względem globalnego układu współrzędnych. W tym celu wykorzystywane są punkty odniesienia o znanej pozycji w globalnym układzie współrzędnych. Metody te następnie określają pozycję robota względem tych punktów.

Istnieją dwa podstawowe systemy o różnych podejściach pomiarowych. Są to systemy o tzw. swobodnej i stałej trajektorii. Systemy swobodnej trajektorii umożliwiają pozycjonowanie w określonej przestrzeni. Najczęściej pracują na zasadzie triateracji lub triangulacji. Systemy o ustalonej trajektorii są w stanie określić pozycję tylko na określonej wcześniej utworzonej trajektorii. Najpopularniejszy jest system śledzenia - kolorowa linia podłogi, pętla indukcyjna, pod podłogą itp. Stosowane są również systemy nawigacyjne wykorzystujące znaki odniesienia. Znaki te mogą być sztuczne – np. kolorowe oznaczenia na ścianach, kody kreskowe lub naturalne – narożniki (wypukłe, wklęsłe), ościeżnice (ich liczba, odległość między poszczególnymi ościeżnicami, ich położenie względem narożnika) itp.

Do nawigacji stosuje się zwykle kilka systemów nawigacyjnych, odpowiednio uzupełniając ich funkcje, a tym samym zmniejszając błąd pozycjonowania. Najczęstszym jest połączenie systemów nawigacji bezwzględnej i względnej. Stosowany jest głównie dlatego, że pozwala na częściową niezależność od nawigacji bezwzględnej i eliminację przypadkowych błędów.

8.2. Nawigacja względna

Ta metoda nawigacji działa na zasadzie pomiaru przyrostów zmiany pozycji i orientacji robota. Zmiana jest związana z punktem początkowym lub punktem, w którym ostatnio określono bezwzględną pozycję robota. Wadą tej metody jest stały wzrost błędu położenia spowodowany występowaniem błędów w poszczególnych przyrostach. Dlatego metoda ta ma niezależne zastosowanie tylko dla stosunkowo krótkich trajektorii w zależności od dokładności pomiaru. W większości przypadków łączy się to w praktyce

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

z bezwzględny systemami nawigacyjnymi, aby zmniejszyć ten błąd. Zaletą takiego połączenia jest to, że pozwala na stosunkowo dużą niezależność robota od systemu nawigacji absolutnej oraz eliminację przypadkowych błędów nawigacji bezwzględnej. Może to znacznie zwiększyć niezawodność i dokładność nawigacji.

Odometria. Jest to najczęstsza metoda nawigacji względnej. Polega ona na tym, że układ sterowania zawiera model kinematyczny robota i za pomocą tego modelu jest w stanie określić zmianę położenia robota w zależności od zmiany położenia siłowników – typowo kół. Metoda ta jest często stosowana w robotach kołowych, gdzie możliwe jest zapewnienie stałego kontaktu z podłogą bez poślizgu. Jeśli tak nie jest, to korzystanie z tej nawigacji jest obarczone błędami, co praktycznie uniemożliwia korzystanie lub ogranicza korzystanie z niej na krótszych dystansach. W przypadku robotów kołowych jest to jeden z najkorzystniejszych systemów nawigacji, głównie ze względu na swoją prostotę i niską cenę zakupu. Najczęściej do tego celu wykorzystywane są czujniki przyrostowe.

Dokładność tej metody zależy od dokładności modelu kinematycznego przy zapewnieniu kontaktu z podłożem. Jego dokładność jest ograniczona głównie dokładnością określenia wymiarów poszczególnych kół, w zależności od rodzaju zastosowanego podwozia. Najprostszy to robot sterowany różnicowo. Posiada dwa niezależnie napędzane koła zwykle umieszczone pośrodku robota. Zmiana kierunku realizowana jest poprzez różne obroty kół. Model kinematyczny tego podwozia jest bardzo wrażliwy na dokładność określenia wymiarów kół, chodzi głównie o określenie zmiany orientacji robota. Ograniczeniem tego typu podwozi jest niska zdolność pokonywania nierówności. Innym rozpowszechnionym systemem jest podwozie sterowane metodą Ackermana. Ten typ składa się z napędu (-ów) i kierownicy. Koło napędowe przesuwa robota do przodu, a obrót kierownicy wpływa na kierunek ruchu.

W poniższym tekście zostaną wprowadzone zależności dla odometrycznego pomiaru położenia, w tym obrotu robota mobilnego z dwukołowym podwoziem i kołami sterowanymi różnicowo.

Rozważmy napęd ze skrzynią biegów o przełożeniu n , średnicy koła napędzanego D_k i enkoderze z impulsami C_0 na obrót. Oba napędzane koła są od siebie oddalone na odległość d . Naszym celem jest wprowadzenie zależności, które na podstawie znanej liczby impulsów enkodera poszczególnych kół (oraz w odniesieniu do parametrów podukładu napędowego) wyrażą nowe współrzędne x_i , y_i oraz kąt obrotu robota α . Ponieważ będziemy mieć dane dotyczące liczby impulsów enkodera, wprowadzimy pomocniczy

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



współczynnik konwersji c_k , który będzie odpowiadał odległości przebytej na impuls enkodera.

$$c_k = \frac{\pi D_k}{n C_0} \quad (22)$$

Poniższe dotyczy zatem zwiększenia drogi przebytej przez lewe (Δu_L) lub prawe koło (Δu_P) w odniesieniu do liczby impulsów odpowiednich enkoderów N:

$$\Delta u_{L/P,i} = c_k N_{L/P,i} \quad (23)$$

Przyrostowe przemieszczenie środka robota będzie wówczas (oznaczone jako L na rys. 40):

$$\Delta u_i = \frac{\Delta u_{L,i} + \Delta u_{P,i}}{2} \quad (24)$$

przyrostowy obrót środka robota (w radianach):

$$\Delta \alpha_i = \frac{\Delta u_{L,i} - \Delta u_{P,i}}{d} \quad (25)$$

Nowa względna rotacja robota będzie wtedy wynosić:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \Delta \alpha_i \quad (26)$$

Względna pozycja środka:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta u_i \cos \alpha_i \quad (27)$$

$$y_i = y_{i-1} + \Delta u_i \sin \alpha_i \quad (28)$$

Powyższe zależności można regulować w przypadku zastosowania napędu krokowego zastępując przełożenie n skrzyni biegów l i zastępując liczbę impulsów enkodera przypadających na obrót liczby kroków (lub mikrokroków - jeśli są stosowane) na obrót (C_0).

Ale co zrobić, jeśli napęd nie jest wyposażony w żaden czujnik obrotów lub prędkości - np. zmodyfikowany model serwomotoru. W przypadku zmodyfikowanego koła robota z serwonapędem prędkość obwodowa wynosi:

$$v = \omega r \quad (29)$$

gdzie: r – promień napędzanego koła.

Prędkość wału wyjściowego serwomechanizmu zależy głównie od napięcia zasilania serwomechanizmu, w pewnym stopniu od wielkości odchylenia sterowania (pomiędzy rzeczywistą pozycją obrotu wału a żadaną reprezentowaną szerokością impulsu) oraz momentu obciążenia.

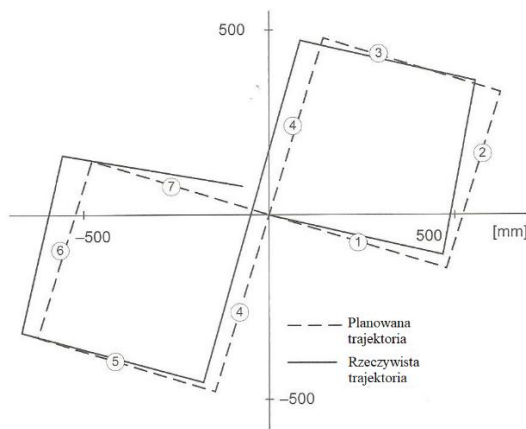
Jeśli zapewnimy:

- stałe napięcie zasilania serwomechanizmu,

- stałą prędkość poprzez generowanie szerokości impulsów serwomechanizmu poza zakresem położenia neutralnego 1,5 ms (w położeniu neutralnym występuje niewielka odchyłka sterowania i wewnętrzny sterownik serwo generowałby mniejszy sygnał działania = mniejsza prędkość),

- stałe obciążenie – robot będzie poruszał się po równym terenie bez przeszkód.

Wtedy prędkość serwa będzie równa $\langle -\omega, 0, +\omega \rangle$, w zależności od szerokości dostarczanych impulsów sterujących, gdzie znak wskazuje kierunek obrotów. Możemy eksperymentalnie zmierzyć odpowiednio prędkość ω , a następnie we własnym programie obliczyć przyrosty drogi przebytej przez poszczególne koła w funkcji czasu i podstawić je do zależności (24). W ten sposób możemy zaimplementować prosty system odometryczny - bez wymagań co do dokładności - w robocie, gdzie czujniki przyrostowe nie są dostępne (rys. 40).



Rys. 40. Przykład odometrii na podstawie czasu i prędkości (rzeczywista pozycja robota była mierzona tylko na końcach linii)

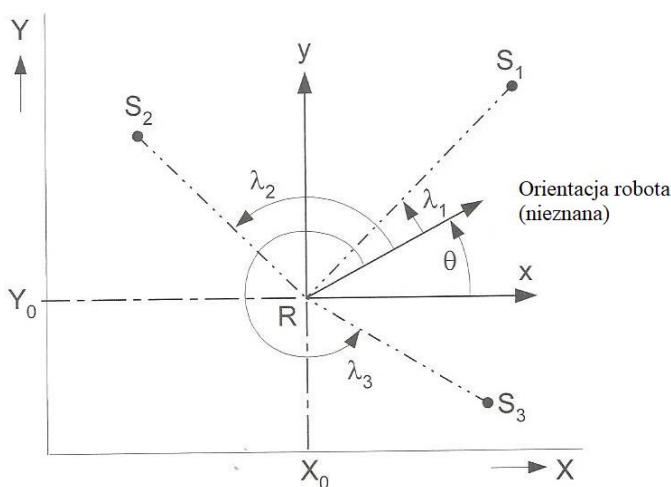
Jego zastosowanie będzie dotyczyło krótszych dystansów, np. do zadania jazdy w określonym kierunku z przeszkodą i kontynuowania jazdy w określonym kierunku.

Nawigacja wewnętrzna. Ta metoda działa na zasadzie pomiaru przyspieszenia robota. Do pomiaru wykorzystuje się połączenie akcelerometru do pomiaru przyspieszeń liniowych (lub tachodynamicznego urządzenia do pomiaru prędkości) i żyroskopu do pomiaru przyspieszeń kątowych. Zmiana pozycji robota jest determinowana przez późniejszą podwójną integrację. Metoda obarczona jest rosnącym błędem pozycji spowodowanym systematycznym błędem pomiarowym zastosowanych czujników. Problemem ich zastosowania w robotach mobilnych jest obszar niskich prędkości, gdzie wielkość sygnału akcelerometru jest

porównywalna z jego reakcją na drgania wywołane np. uderzeniem w przeszkodę. Systemy te są nadal używane, zwłaszcza tam, gdzie nie można wykorzystać istniejących systemów nawigacji absolutnej lub wymagana jest możliwość niezależności od tych systemów. Do nawigacji robotów mobilnych metodę tę zaczęto stosować wraz z rozwojem żyroskopów optycznych, osiągając wysoką dokładność.

8.3. Nawigacja absolutna

Podstawowym zadaniem nawigacji absolutnej jest jednoznaczne określenie pozycji robota względem punktów odniesienia. Najczęściej do rozwiązania tego problemu stosuje się dwie metody. Metoda trilateracji, określająca położenie robota na podstawie odległości od punktów odniesienia. Druga metoda to triangulacja, określająca położenie robota poprzez pomiar trzech kątów λ pomiędzy punktami odniesienia S i robotem (rys. 41). Znając położenie tych punktów w globalnym układzie współrzędnych, MR jest w stanie obliczyć swoje położenie na podstawie zmierzonych kątów.



Rys. 41. Zasada triangulacji

Pomiary te można wykonywać na różne sposoby. Są to najczęściej wiązki laserowe, promieniowanie elektromagnetyczne lub fale akustyczne. Metody triangulacji mogą działać albo z jednym nadajnikiem umieszczonym na robocie i kilkoma odbiornikami znajdującymi się w środowisku pracy robota, albo odwrotnie – odbiornik umieszczony jest na robocie, a elementy aktywne (nadajniki) pełnią rolę „latarni morskich”. Zaletą tego ostatniego jest to, że można go łatwo wykorzystać do dużej liczby robotów poruszających się w przestrzeni w tym samym czasie.



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

Drugim zadaniem jest określenie orientacji robota. Do jej pomiaru można wykorzystać systemy pozycjonowania, kombinacje tych systemów z nawigacją względną lub zastosowanie oddzielnego systemu pomiaru orientacji. Pierwsze podejście ma zastosowanie do metody triangulacji ze względu na zasadę jej pomiaru. Drugie podejście jest charakterystyczne dla trilateracji, która jest w stanie określić tylko położenie robota. Zasada pomiaru orientacji tą metodą polega na tym, że robot porusza się metodą względnej nawigacji po ścieżce, której długość uwzględnia błąd obu systemów nawigacji. Z różnicy między zmianą pozycji określoną przez te systemy nawigacyjne można określić orientację robota.

Główną wadą tej metody jest dodanie błędów obu metod oraz konieczność relokacji robota, po czym robot jest w stanie określić orientację. Dlatego do pomiaru orientacji często stosuje się specjalne systemy. Najczęściej stosuje się tzw. kompas, który jest w stanie zmierzyć orientację robota w stosunku do pola magnetycznego Ziemi. Zaletą tego systemu jest jego dostępność praktycznie na całym świecie, wysoka niezawodność i minimalne koszty zakupu. Wadą jest wrażliwość na otaczające pola magnetyczne, które mogą degradować pomiar. Słońce może być również wykorzystywane w środowisku zewnętrznym do określania orientacji. Robot potrzebuje informacji o aktualnym czasie i dacie, na podstawie tych informacji jest w stanie określić swoją orientację za pomocą modelu matematycznego.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

9. Podsumowanie

Roboty mobilne to szybko rozwijająca się interdyscyplinarna dziedzina obejmująca projektowanie, napędy, sterowanie, sztuczną inteligencję, elektronikę, czujniki, akwizycję i analizę danych, nawigację, komunikację oraz inne dyscypliny naukowe i techniczne. Jasne jest również, że projektowanie i rozwój profesjonalnych robotów mobilnych to kwestia zespołowa.

Ostatnio nastąpiło silne pojawienie się robotów mobilnych w obszarach usług, takich jak opieka zdrowotna, budownictwo, rolnictwo, leśnictwo, gospodarstwa domowe, pomoc osobom niepełnosprawnym, a także coraz częściej w przemyśle rozrywkowym, rekreacyjnym i zabawkarskim. Np. niektóre zagraniczne uczelnie techniczne oferują już kursy z zakresu robotów mobilnych do rozrywki. Nie wspominając o ich wykorzystaniu przez żołnierzy, policję i strażaków. Z drugiej strony istnieje również szereg grup półprofesjonalnych i amatorskich oraz osób prywatnych na całym świecie zaangażowanych w rozwój robotów mobilnych dla rozrywki. Istnieje na przykład szereg zawodów piłkarskich robotów mobilnych w kilku kategoriach, a także zawody robotów mobilnych przeznaczonych do badań, poszukiwania przedmiotów i ludzi itp. Cieszy fakt, że wiele z tych wydarzeń na arenie międzynarodowej, europejskiej i światowej z powodzeniem biorą udział przedstawiciele z Polski.

Do dalszego badania tego zagadnienia można polecić Internet, gdzie prezentowana jest ogromna ilość istotnych informacji. Jest to jednak uwarunkowane znajomością języka – angielskiego.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny

