ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: ELEKTRYKA z. 187 Nr kol. 1612

Maciej SAJKOWSKI, Tomasz STENZEL, Kazimierz GIERLOTKA, Bogusław GRZESIK
Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej

ROBOTY MOBILNE JAKO NARZĘDZIE DYDAKTYCZNE W KSZTAŁCENIU INŻYNIERA

Streszczenie. Artykuł prezentuje aktualne możliwości wykorzystania robotów mobilnych w procesie edukacyjnym. Perspektywy rozwoju edukacyjnych zastosowań tego typu maszyn w ramach uczelni technicznych nakreślono w pierwszej części artykułu. Robotyka mobilna stanowi kompendium wiedzy z zakresu nauk ścisłych. Najcenniejszą zaletą robotyki mobilnej jest przetworzenie wiedzy teoretycznej na produkt możliwy do testowania laboratoryjnego. Druga część zawiera opis struktury układów zasilania, napędu i sterowania robotów mobilnych. Duża różnorodność rozwiązań wykorzystanych w tych maszynach wpływa znacząco na poprawę efektywności programu nauczania. W następnej części artykułu zreferowano wybrane przykłady robotów mobilnych, mogących znaleźć zastosowanie w wyższej uczelni technicznej. Czwarta część prezentuje robota kroczącego HEXOR, zaprojektowanego przez autorów.

MOBILE ROBOTS AS A DIDACTICAL TOOL IN ENGINEERING EDUCATION

Summary. The paper describes current possibilities of using mobile robots in high school education. The perspectives of development educational applications for that machines are drawn in the first part of the paper. The mobile robotics is a mixture of modern engineering sciences. The most valuable advantage of mobile robotics is transformation from theoretical knowledge to educational and research laboratory equipment. The second chapter of the paper presents the mobile robots motion, power and control systems structure. Variety of technical solutions applied in mobile robots are shown and the way how it significantly influences the engineering education efficiency is described. The next part refers selected examples of mobile robots, which may be used in high school education. HEXOR- the walking robot designed by the authors is presented in the fourth chapter.

1. WPROWADZENIE

Dynamiczny postęp nauki i techniki w wielu dziedzinach inżynierskich wymaga nowych narzędzi w zakresie kształcenia. Obecnie istnieje potrzeba zarówno edukacji specjalistycznej jak i ogólnej, umożliwiającej szersze spojrzenie na określoną dziedzinę wiedzy. Między innymi dzięki wymienionym przesłankom roboty wkraczają w obszar dydaktyki. Ponieważ robotyka integruje wiedzę z wielu specjalności inżynierskich: mechaniki, inżynierii

elektrycznej, automatyki, elektroniki i informatyki, zatem wykorzystanie robota w procesie dydaktycznym może stanowić punkt wyjścia do pogłębiania wiedzy z zakresu poszczególnych kierunków.

Na wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej realizowany jest projekt Robosys. Celem projektu jest uruchomienie produkcji robotów edukacyjnych w Polsce oraz wypromowanie ich zastosowań edukacyjnych. Jednym z głównych założeń projektu jest, aby roboty były dostosowane do realiów i potrzeb rodzimych uczelni technicznych. Istotnym kryterium w tym przypadku były nie tylko możliwości dydaktyczne, ale także cena projektowanych urządzeń.

Dydaktyczny robot mobilny może służyć nie tylko jako podręczne laboratorium elektroniki, ale też można dzięki niemu nauczać programowania mikroprocesorów. Ponadto możliwość zaprogramowania reakcji urządzenia na zmieniające się warunki otoczenia jest z pewnością o wiele bardziej inspirująca niż obserwacja zmian na ekranie lub wyświetlaczu mikrokontrolera.

Dzięki stosunkowo niewielkim nakładom można tworzyć zawansowane projekty polegające na kooperacji pomiędzy maszynami mobilnymi. Biorąc pod uwagę Stany Zjednoczone, gdzie dynamicznie rozwijają się firmy produkujące roboty mobilne, edukacja jest istotnym rynkiem dla tego typu urządzeń. Na rynku robotów edukacyjnych dostępnych jest wiele urządzeń, zróżnicowanych zarówno pod względem ceny, jak i możliwości sprzętowych i programowych. Roboty tego rodzaju nie są wyłącznie wykorzystywane przez uczelnie. Obserwuje się również tendencję do wykorzystywania ich we wcześniejszych etapach kształcenia młodzieży. W tego typu zastosowaniach robot mobilny stanowi płynne przejście od interesującej pomocy dydaktycznej do poważnego narzędzia naukowego.

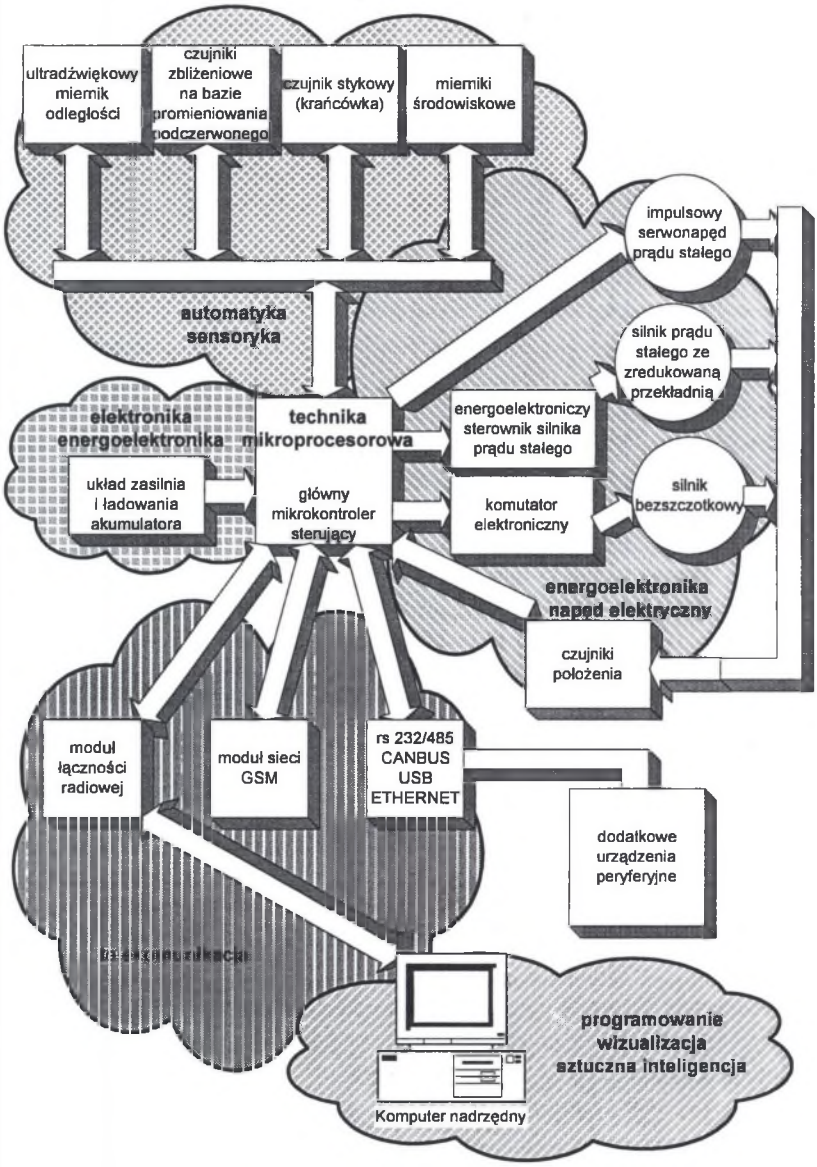
Motywacją do podjęcia prac projektowych w zakresie robota edukacyjnego jest brak przystępnych cenowo urządzeń tego typu sprzedawanych, a przede wszystkim produkowanych w kraju.

2. UKŁAD STEROWANIA ROBOTA MOBILNEGO

Możliwości tkwiące w rozwijaniu oprogramowania mikrorobotów sugerują potrzebę wytworzenia dostępnej dla uczelni technicznych platformy sprzętowo-programowej zintegrowanej z podwoziem robota mobilnego lub z mechanizmem kroczącym. Jako dowód na to, że jest duże zainteresowanie wykorzystaniem mikrorobotów w edukacji, może świadczyć znaczna liczba publikacji na ten temat w prestiżowym periodyku IEEE Intelligent Systems Magazine [2, 7]. Na podstawie licznych, opracowanych na uczelniach, kursów robotyki można określić zakres podstawowych zagadnień związanych z edukacją [3, 5, 6, 8]:

- sprzęt elektroniczny,
- czujniki,
- rozwiązania komunikacyjne,
- sprzęt komputerowy,
- mikrokontrolery,
- projektowanie układów elektromechanicznych i elektronicznych,
- inżynieria oprogramowania,
- tworzenie dokumentacji,
- praca zespołowa.

Na poniższym schemacie blokowym zaprezentowano modułową budowę robota mobilnego. Poszczególne elementy składowe robota można traktować jako przykłady dydaktyczne dla wielu zagadnień związanych ściśle z inżynierią elektryczną.



Rys. 1. Schemat blokowy układu sterowania robota mobilnego
Fig. 1. Block diagram of mobile robot control system

3. WYBRANE ROZWIĄZANIA DYDAKTYCZNYCH ROBOTÓW MOBILNYCH

W niniejszym rozdziale zaprezentowano wybrane przykłady dydaktycznych robotów mobilnych. Analiza opisanych poniżej rozwiązań była punktem wyjścia do zaprojektowania własnego systemu dydaktycznych robotów mobilnych.

3.1. Rozwiązania firmy Parallax i Lynxmotion

Firma Parallax opracowała interesujące rozwiązania 8-bitowych mikrokontrolerów z wbudowanym interpreterem języków BASIC i JAVA. BASIC STAMP oraz JAVELLIN STAMP są platformami umożliwiającymi tworzenie prostych rozwiązań dydaktycznych. Na bazie mikrokontrolera BASIC STAMP opracowano robota mobilnego BOE BOT. Jak wskazuje nazwa (BOE - Board Of Education - płyta edukacyjna), edukacja stanowi podstawową dziedzinę zastosowań omawianego sprzętu.

Kompleksowym rozwiązaniem dydaktycznym oferowanym przez firmę Parallax jest program „Stamps in class". Jest to zestaw materiałów dydaktycznych z zakresu programowania mikrokontrolerów i podstaw robotyki. Istotną wadą produktów wspomnianej firmy są ograniczone możliwości mikrokontrolera BASIC STAMP.

Na bazie omawianego wcześniej robota BOE BOT firma Lynxmotion stworzyła gamę produktów mogących również znaleźć zastosowanie w edukacji. Chociaż rozwiązania te nadal bazują na 8-bitowym mikrokontrolerach BASIC STAMP, to pozwalają one na zamontowanie dostępnych opcjonalnie ultradźwiękowych czujników odległości lub kamer CCD znacznie zwiększających ich możliwości i atrakcyjność jako pomocy dydaktycznych.

3.2. Rugwarior

Przystępny kurs budowy i programowania robotów prezentują autorzy [1]. Publikacja wyjaśnia wszystkie aspekty związane z konstrukcją i działaniem mikrorobota mobilnego, rozpoczynając od wyjaśnienia elementarnych zagadnień związanych z elektroniką i napędem elektrycznym. Przedstawiony robot Rugwarior wyposażony jest w 16-bitowy mikrokontroler Motorola serii 6800, co daje mu dużą przewagę nad wspomnianymi wcześniej rozwiązaniami na platformie ośmiobitowej. Programowanie tego robota odbywa się w języku C.

3.3. Lego Mindstorms

Lego Mindstorms to zestawy edukacyjne produkowane przez firmę LEGO. Rozwiązanie to zostało opracowane przez połączone siły dwóch potentatów w swoich dziedzinach Massachusetts Institute of Technology oraz firmę LEGO, znanego producenta zabawek. Roboty te są chętnie wykorzystywane przez uczelnie techniczne i w oparciu o nie powstało wiele materiałów dydaktycznych [2, 5, 7].

3.4. Roboty Activmedia

W firmie Activmedia opracowano szereg rozwiązań możliwych do wykorzystania na różnych poziomach edukacji. Unikalnym produktem jest robot AMIGOBOT, który dzięki przyjaznemu oprogramowaniu komunikacyjnemu, zainstalowanemu na komputerze

stacjonarnym, może być wykorzystywany nawet przez najmłodszych. Sztandarowym produktem firmy Activemedia jest robot Pioneer, wykorzystywany między innymi przez polskie uczelnie techniczne.

Rozwiązania Activmedia wsparte są systemem operacyjnym Saphira, umożliwiającym tworzenie przez użytkowników własnego oprogramowania sterującego robotem. Ten zintegrowany system sterowania i obsługi czujników przeznaczony jest przede wszystkim dla mobilnych robotów kołowych. Centralnym modułem jest moduł geometrycznej reprezentacji przestrzeni. Z uwagi na to, że różne zadania wymagają różnej reprezentacji otoczenia, metody opisu środowiska robota dostosowane są do poziomu interpretacji informacji z czujników. Zasadniczo robot może poruszać się na podstawie informacji pochodzących bezpośrednio z cyfrowej mapy obszaru działania. Możliwy jest również opis otoczenia za pomocą rastrowej metody siatki zajętości (tworzonej na podstawie odczytów czujników odległości od przeszkody) oraz bardziej analityczne odwzorowanie cech powierzchni, uwzględniające rezultaty pomiarów i modele środowiska działania robota.

3.5. Roboty Kephera i Koala

Robot Kephera zbudowany jest na bazie dwusilnikowego napędu różnicowego. Jego pracą steruje 16-bitowy mikrokontroler. Koala jest średniej wielkości robotem, zaprojektowanym do działania w warunkach terenowych. Oba roboty mają możliwość rozszerzenia o wiele dodatkowych urządzeń.

Na Uniwersytecie Śląskim w Opawie w Czechach [3] uruchomiono jedyne na terenie Czech i Słowacji laboratorium dydaktyczne na bazie kilku robotów Kephera. Studenci rozwiązują kwestie związane z tworzeniem systemów w oparciu o wzajemną interakcję kilku robotów.

W laboratorium realizowane są następujące projekty:

- autonomiczne działanie pojedynczego robota,
- sprzężenie czujników i elementów wykonawczych,
- programowanie i realizacja współbieżnych zadań dla pojedynczego robota lub zespołu robotów,
- wzajemne interakcje pomiędzy robotami,
- reakcje robotów na zmianę warunków otoczenia oraz oddziaływanie otoczenia wywołane działaniem robotów.

W realizacji zadań tego typu zorientowane obiektowo podejście do programowania zastępuje się analizą i projektowaniem aplikacji rozproszonych w oparciu o teorię agentów. Można to uznać za wstęp do procesu tworzenia społeczności robotów.

Według naukowców z MIT obecnie problemem jest brak uniwersalnego robota, który mógłby być wykorzystywany do nauki, prac badawczych oraz eksperymentów. Studenci uczestniczący w zajęciach z tzw. inteligencji wbudowanej odczuwają brak platformy sprzętowo-programowej na odpowiednim poziomie. Zestawy na bazie LEGO Mindstorms wykazują pewne niedostatki szczególnie w zakresie języka programowania oraz braku możliwości stosowania złożonych układów sensorycznych i wykonawczych. Poszukiwana jest platforma, która byłaby dla studentów osiągalna cenowo oraz mogła być stosunkowo szybko i niewielkim kosztem rozszerzana. Oprócz wspomnianych zestawów LEGO rolę dydaktyczno-badawczego robota spełnia robot Kephera, jednak ma on szereg wad, począwszy od wysokiej

ceny, poprzez brak języka wysokiego poziomu do programowania zachowań, a skończywszy na ograniczonych możliwościach percepcji i poruszania się w skomplikowanym środowisku.

Potrzeby w zakresie edukacji mógłby zaspokoić robot, którego architektura od strony programistycznej umożliwiałaby programowanie na wysokim poziomie abstrakcji reakcji robota na otoczenie. Wyposażenie takiego robota powinno umożliwiać działanie opisywanego oprogramowania, a także zapewniać odpowiedni osprzęt komunikacyjny, złącza do układów peryferyjnych w formie dodatkowych czujników bądź układów wykonawczych. Zestaw tego typu pozwalałby na realizację wyrafinowanych projektów w sensownie krótkim czasie.

4. ROBOTY HEXOR I ORION

Prace projektowe nad własnymi robotami mobilnymi były poprzedzone gruntowną analizą opisanych powyżej rozwiązań. Na etapie projektowania robotów brane były pod uwagę technologicznie dostępne i relatywnie niedrogie rozwiązania sprzętowe i programowe, tak aby cena całego robota była porównywalna z ceną komputera osobistego. W ramach zespołu Robosys opracowano zarówno projekty robotów, jak i procedury uruchomienia ich produkcji.

Pierwszym z projektów zespołu Robosys jest robot kroczący HEXOR. Sześcionożna platforma HEXORa, wzorowana pod pewnymi względami na anatomii skorpiona, zapewnia utrzymanie równowagi i pozwala na operowanie nią przy minimalnej liczbie serwonapędów, co z kolei przyczynia się do redukcji kosztu robota. W stosunku do rozwiązań firmy Lynxmotion, których słabym punktem jest delikatna konstrukcja i tworzywo sztuczne charakteryzujące się niewielką wytrzymałością, konstrukcja HEXORa jest pozbawiona tych wad. Pracą urządzenia steruje ośmiobitowy mikrokontroler. Robot może być programowany w języku BASIC, Asembler lub C. Wyposażenie podstawowe stanowi zestaw czujników podczerwieni oraz czujnik ultradźwiękowy na ruchomej głowicy. HEXOR jest wyposażony w kamerę bezprzewodową i do kierowania nim wymaga komputera osobistego, z którym komunikuje się dzięki dwukierunkowemu łączu radiowemu. Dodatkowo robot może być wyposażony w układ rozpoznawania mowy, pozwalający na identyfikację kilkunastu zaprogramowanych uprzednio poleceń użytkownika. HEXOR ma być płaszczyzną pierwszego kontaktu z robotyką dla studentów oraz w przyszłości uczniów szkół średnich.

Opracowany przez zespół Robosys Osobisty Robot Inspekcyjny ORION stanowi bardziej zawansowane technologicznie rozwiązanie.

Poniżej zestawiono najważniejsze cechy charakterystyczne tego robota.
Układ napędowy stanowi dwusilnikowy napęd różnicowy na bazie silników elektrycznych małej mocy. Istnieje możliwość zastosowania silników prądu stałego, silników krokowych, serwonapędów impulsowych oraz silników bezszczotkowych z komutatorem elektronicznym. Napęd wyposażono w czujniki odometryczne. Pracą napędu steruje główny mikrokontroler. Dodatkowo robot jest wyposażony w następujące podzespoły:

- zestaw czujników - rozwiązania na bazie czujników podczerwieni,
- zestaw czujników ultradźwiękowych, umożliwiających pomiar odległości,
- moduł transmisji dźwięku i obrazu.

Rys. 2. Robot mobilny HEXOR opracowany w ramach projektu ROBOSYS
Fig. 2. Mobile robot HEXOR worked out within a framework of the ROBOSYS project

Ponadto istnieje możliwość instalacji układu rozpoznawania mowy, działającego w trybie słów izolowanych, zależnego od operatora oraz wyposażonego w funkcję ciągłego nasłuchu.

Układ sterowania robota pozwala na programowanie przez użytkownika własnych algorytmów pracy napędu oraz czujników. Językiem programowania może być BASIC lub Asembler.

Oprócz wymienionych możliwości wersji podstawowej ORION może być wyposażony w komputer osobisty z autonomicznym zasilaniem. W tej wersji możliwości robota są znacznie większe, przede wszystkim w zakresie przetwarzania skomplikowanych informacji, np. analizy obrazu.

Użytkownicy mają do dyspozycji narzędzia programistyczne pracujące pod kontrolą systemu operacyjnego Linux. Szybki procesor i system operacyjny umieszczony w pamięci RAM z wbudowanym serwerem WWW, z możliwością komunikacji przez sieć w technologii radiowej, tworzą wydajną platformę edukacyjno-badawczą.

Programowanie robota może być realizowane przy wykorzystaniu powszechnie dostępnych i darmowych narzędzi, np. gcc - popularnego kompilatora języków C, C++ i JAVA.

5. PODSUMOWANIE

Dotychczas uruchomiono produkcję robota kroczącego HEXOR. ORION pozostaje jako prototyp i narzędzie w ramach projektów prowadzonych przez zespół badawczy. Obecnie trwają prace nad rozwojem algorytmów pracy robotów w środowisku zamkniętych pomieszczeń o znanej lub nieznanej dla robota topografii [8].

LITERATURA

1. Jones, J.L. and Flynn, A. M.: *Mobile Robots: Inspiration to Implementation*, AK Peters, Wellesley, MA, 1993.
2. Horswill I. A.: *Laboratory Course in Behavior-Based Robotics*, IEEE Intelligent Systems Magazine, November/December 2000, pp. 16-21.
3. Kantor G., Manikonda V., Newman A., Tsakiris D.P.: *Robotics for High School Students in a University Environment*, Institute for Systems Research and Electrical Engineering Department University of Maryland, Unit de Recherche de Sophia-Antipolis Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA).
4. Kelemen J., Kubik A.: *Robots and Agents in Basic Computer Science Curricula*, Proceedings of the Tird International Workshop on Robot Motion and Control,RoMoCo '02, Politechnika Poznańska 9-11 listopada 2002, str. 309-317.
5. Michaud F., Lachiver G., Lucas M., Clavet A., Dirand J.M., Boutin N, Mabilleau P, Descôteaux J.: *Using ROBUS in Electrical and Computer Engineering Education*, Université de Sherbrooke (Québec Canada), Computers in Education Journal, vol.X, no.1, Jan-March 2000, pp. 50-56.
6. Qaiyumi A., Jantz S.D., Arroyo A. A., Bagnell J. A., Bagnell, O'Malley P.: *Robots in the Classroom: Using Mobile Autonomous Agents to Stimulate Interest in Science and Engineering Machine Intelligence Laboratory*, 1998 Florida Conference on Recent Advances in Robotics March 26-27, 1998, Florida Institute of Technology.
7. R.R. Murphy: *Robots and Education*, IEEE Intelligent Systems Magazine, November/December 2000, pp.14-15.
8. Schilling K.,Roth H., Rösch O.J.: *Mobile Mini-Robots for Engineering Education*, 2002 UICEE Global Journal of Engineering Education, Vol.6, No.1.
9. Tchoń K., Mazur A., Hossa R., Dulęba I., Muszyński R.: *Manipulatory i roboty mobilne. Modele, planowanie ruchu, sterowanie*, Warszawa, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marian Pasko

Wpłynęło do Redakcji dnia 1.12.2003 r.