

XIV Seminarium
ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2004
Oddział Gdański PTETiS

**ROBOTY MOBILNE Z AUTONOMICZNĄ NAWIGACJĄ – STAN
OBECNY I PERSPEKTYWY NA NAJBLIŻSZE LATA**

Grzegorz REDLARSKI¹, Andrzej GRONO¹, Mariusz DĄBKOWSKI²

1. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
tel: (058) 347 2357 tel: (058) 347 2056 fax: (058) 347 1802
e-mail: gredlar@ely.pg.gda.pl, agrono@ely.pg.gda.pl
2. Studium doktoranckie przy Wydziale Elektrotechniki i Automatyki
tel: (058) 347 2139 fax: (058) 347 1802 e-mail: mardab@ely.pg.gda.pl

Opisano edukacyjny robot mobilny, wykonany do badań laboratoryjnych. Przedstawiono i omówiono najistotniejsze zagadnienia nawigacji robotów mobilnych. Opisano, w jaki sposób rozwiązać zagadnienia związane z określaniem pozycji robota w przestrzeni, zbieraniem najistotniejszych danych o otoczeniu (np. o przeszkodach) oraz podejmowaniem decyzji związanych z poruszaniem się w terenie. Zasygnalizowano także, w jaki sposób zaspokoić potrzebę dużej mocy obliczeniowej na zazwyczaj małych platformach robotów mobilnych oraz jaki rodzaj zasilania jest najkorzystniejszy z punktu widzenia robota spełniającego określone funkcje. Ponadto w referacie przedstawiono najbardziej interesujące wyniki badań opracowanego i wykonanego robota mobilnego. Podano także perspektywę dalszego rozwoju robotów mobilnych z autonomiczną nawigacją (ze szczególnym uwzględnieniem robotów do eksploracji kosmosu) na najbliższe lata.

1. WSTĘP

Szczególnie intensywnie rozwijająca się w ostatnich latach robotyka jest interdyscyplinarną dziedziną wiedzy łączącą w sobie m.in. mechanikę, automatykę i elektrykę oraz technikę komputerową. Jej rozwój wynika nie tylko z ciągle rosnącego zapotrzebowania na roboty, które są w stanie realizować coraz bardziej złożone i odpowiedzialne funkcje, ale również z chęci wykorzystywania ich do coraz to nowych zastosowań. Oczywiście rozwój ten nie zachodzi samoistnie, lecz wynika z równoległego rozwoju chociażby technologii pozwalających na konstrukcję coraz mniejszych oraz bardziej dokładnych członów wykonawczych robotów, czy też ciągłej miniaturyzacji i wzrostu mocy obliczeniowych procesorów, będących centrum sterowania robotów. Ważnym czynnikiem są również prowadzone na coraz szerszą skalę badania wszechświata począwszy od głębin oceanicznych, a sięgające coraz dalej w przestrzeń kosmiczną. Istotnym czynnikiem jest także precyzja, z jaką roboty wykonują powierzone im funkcje. Obecnie jest ona już na tyle zaawansowana, że robotom powierza się niezwykle skomplikowane zadania, np. wykonywania operacji w kardiochirurgii.

Celem referatu jest przedstawienie w jednolitej formie oraz syntetycznym, zwartym ujęciu wybranych zagadnień związanych z problematyką nawigacji robotów mobilnych, które w ostatnich latach stały się bardzo popularnym obiektem eksperymentów, wykonywanych przez naukowców niemal z całego świata. Obecnie doświadczenia wykonuje się, bowiem już nie tylko na tradycyjnych robotach kołowych, lecz także na robotach antropomorficznych i kroczących. Odpowiednio skonstruowany robot mobilny może służyć np. jako urządzenie do sprzątania podłogi, eksploracji terenu w trudno dostępnych lub radioaktywnych miejscach czy też nawet pełnić funkcję policyjnego robota antyterrorystycznego – stosowanego do rozbrajania i przenoszenia ładunków wybuchowych. Podczas tegorocznej marsjańskiej ekspedycji celowe okazało się również zastosowanie dwóch robotów mobilnych (Opportunity oraz Spirit) do badań „Czerwonej Planety”. Roboty te wyposażono w zestaw skomplikowanych czujników i urządzeń, które umożliwiły przesłanie na Ziemię licznych panoramicznych, kolorowych zdjęć Marsa oraz dokonanie głębokiej analizy pobranych próbek, a tym samym dostarczyły nowych informacji na temat procesów, które go ukształtowały. Informacje te pozwoliły także na wstępne potwierdzenie hipotezy o istnieniu wody na marsie.

2. EDUKACYJNY ROBOT MOBILNY Z AUTONOMICZNĄ NAWIGACJĄ

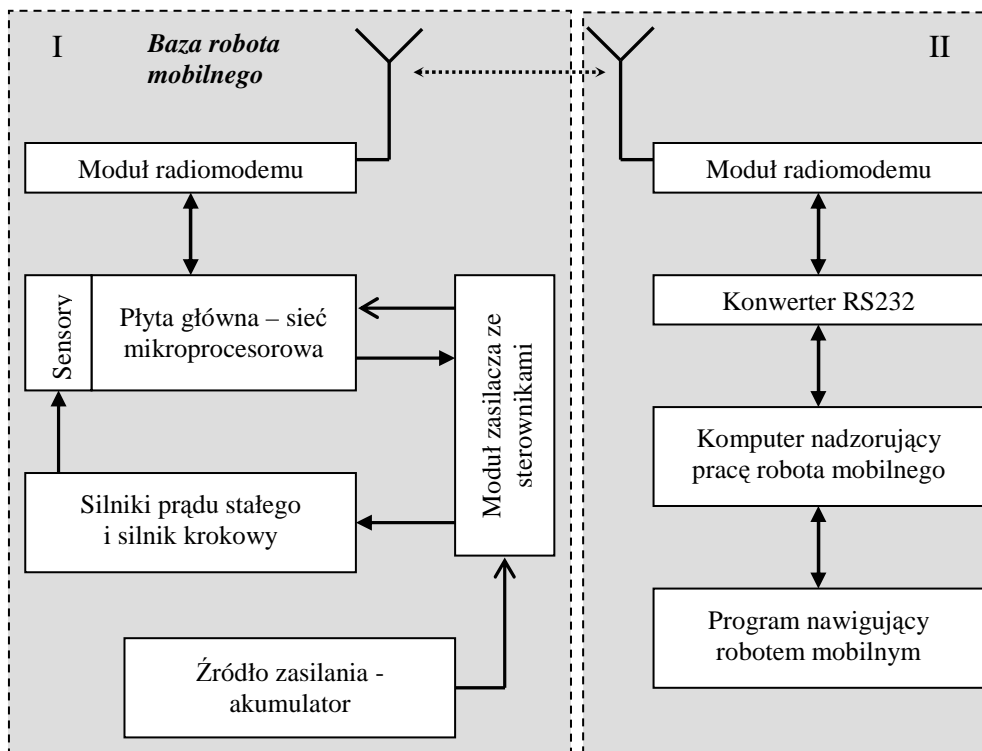
2.1. Struktura budowy robota mobilnego

Pod pojęciem opracowanego i wykonanego robota mobilnego z autonomiczną nawigacją zawarty jest kilka urządzeń połączonych i współdziałających z sobą. Urządzenia te podzielić można na dwie grupy. Pierwszą stanowi tzw. baza robota mobilnego, na którą składa się konstrukcja mechaniczna, układ zasilania i sterowania silnikami robota, płyta główna z odpowiednimi układami pomiarowymi oraz moduł nadawczo-odbiorczy. Mechaniczna konstrukcja nośna robota wykonana jest z aluminiowego kątownika, złożonego w podwójną ramę. Pozwala to zachować odpowiednią sztywność materiału w stosunku do masy robota oraz łatwość jego obróbki. Do konstrukcji nośnej w sposób symetryczny przytwierdzone są silniki napędowe, które poprzez odpowiednie przekładnie przenoszą napęd z osi silnika na koła robota. Trzecią podporę bazy robota mobilnego, zapewniającą jednocześnie możliwość ruchu w dowolnym kierunku, stanowi zamocowane z tyłu konstrukcji nośnej koło kulkowe. Jest ono zamocowane w pobliżu dwukilogramowego akumulatora (stanowiącego źródło pozyskiwania energii elektrycznej przez robota), który jednocześnie czyni robota bardziej stabilnym. Płyta główna w robocie stanowi centrum wykonawcze rozkazów przychodzących drogą radiową z komputera PC. Składa się ona z sieci mikroprocesorowej, typu master-slave (gdzie master to komputer PC, a slave, to każdy z mikrokontrolerów na płycie głównej) opartej na układach AT89Cx51. Wszystkie mikroprocesory mają dostęp do wspólnej magistrali danych, która steruje modułem nadawczo-odbiorczym, poprzez port RS-232. Magistralę wykonano na układach logicznych CMOS, a do podwyższenia napięcia sterującego radiomodemem użyto transoptorów. Sterowanie napędem robota mobilnego jest tak zorganizowane, by zapewniało dowolne przemieszczanie się bazy robota w obszarze pomieszczenia laboratoryjnego. Odpowiedzialny za tę czynność układ steruje układem napędowym w sposób synchroniczny, zapewniający synchroniczną pracę obu silników poprzez kontrolę liczby obrotów każdego z nich [1].

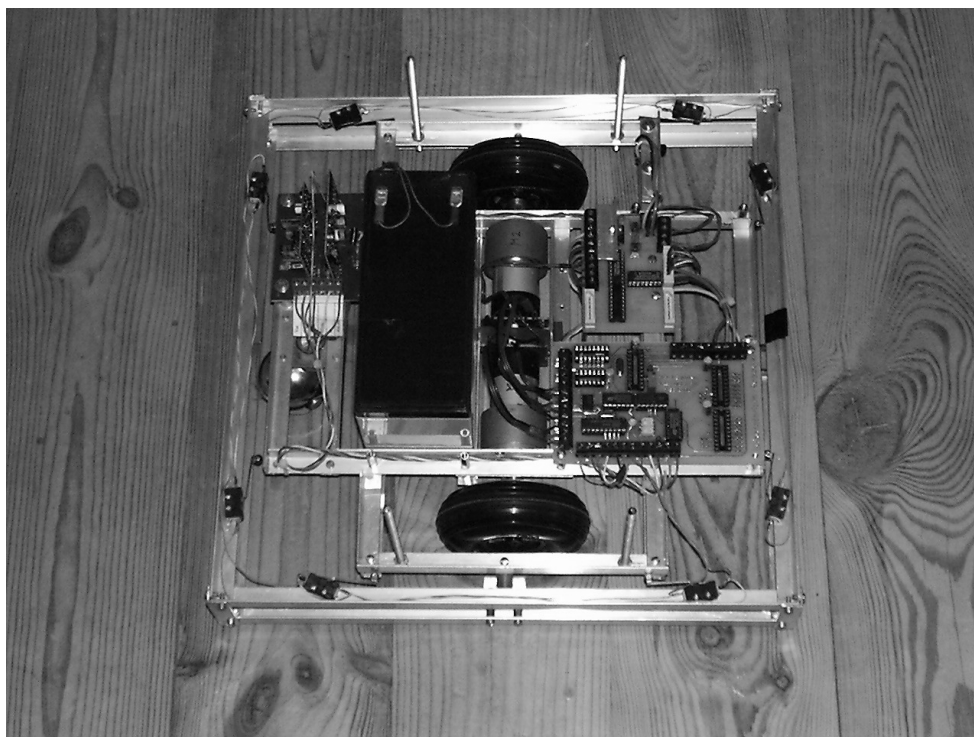
Drugą grupę urządzeń stanowi natomiast komputer PC, pełniący rolę nadrzędną, polegającą na sterowaniu bazą mobilną robota za pośrednictwem konwertera sygnału RS-232 i radiomodemu. Samym komputerem PC zarządza z kolei program nawigacyjny, który

na podstawie odpowiednich algorytmów, bez udziału człowieka, steruje robotem. Tak więc robot swą strukturą przypomina prostą sieć komputerową – typu master-slave z układami wykonawczymi.

Ogólną strukturę budowy edukacyjnego robota mobilnego z autonomiczną nawigacją przedstawiono na rys. 1. Symbol I oznacza opisaną w tekście bazę robota mobilnego, natomiast symbol II grupę urządzeń spełniających rolę nadrzędną w sterowaniu robotem. Z kolei na rys. 2 przedstawiono widok opracowanego i wykonanego robota mobilnego.



Rys. 1 Ogólna struktura budowy edukacyjnego robota mobilnego



Rys. 2 Widok opracowanego i wykonanego robota mobilnego

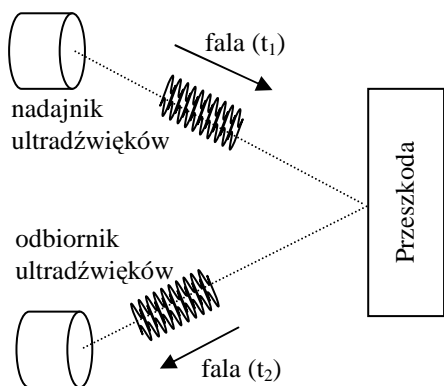
2.2. Sposób nawigacji edukacyjnym robotem mobilnym

Zagadnienie określania dokładnej pozycji robota mobilnego jest najpoważniejszą przeszkodą na drodze do autonomii robota [2]. Do niedawna najczęściej stosowano stałe punkty odniesienia – markery, względem których robot był pozycjonowany w przestrzeni. Było to jednak rozwiązanie skomplikowane i drogie. Między innymi z tych właśnie powodów, nieco później, do orientacji w terenie zaczęto wykorzystywać systemy satelitarne GPS i dokładniejsze DGPS, lecz okazało się, że są one wystarczające jedynie dla dużych robotów, gdzie nie ma potrzeby wykonywania precyzyjnych ruchów. Przykładem może być robot Harunobu-6 [3] przeznaczony do zastosowań laboratoryjnych, który łączy pozycjonowanie względem danych z DGPS oraz markerów.

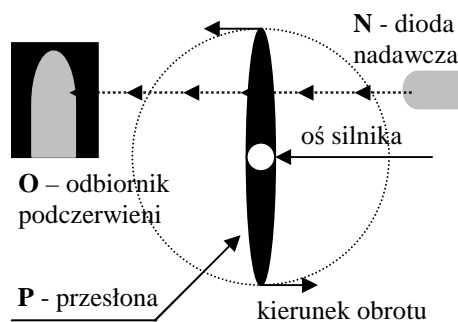
W edukacyjnym robocie mobilnym najistotniejszym elementem „zmysłów” jest sonar cyfrowy, dzięki któremu robot określa swoje położenie w terenie oraz wykrywa przeszkody znajdujące się wokół niego. Zasada działania pomiaru odległości przez sonar polega na wysłaniu przez nadajnik ultradźwięków, fali o czasie będący w przybliżeniu dziesięciokrotnością okresu generowanej fali (rys. 3). Tak więc fala, której okres wynosi t_1 oddala się od źródła sygnału i po pewnym czasie dociera do przeszkody położonej w zasięgu sonaru. Odbijając się od niej, fala o okresie t_2 , zmierza m.in. w kierunku odbiornika i tworzy w nim widmo sygnału, na podstawie którego można zmierzyć odległość od przeszkody lub uzyskać informacje o prędkości przemieszczania się obiektu wykorzystując efekt Dopplera. Dokładność i rozdzielczość pomiarów w tym wypadku zależy wprost proporcjonalnie od częstotliwości generowanej fali ultradźwiękowej. Dodatkowym (poza wspomnianym sonarze cyfrowym) elementem „zmysłów” w opracowanym robocie mobilnym są czujniki

najazdowe, które znajdują się w czterech narożnikach ramy robota. Umożliwiają one zawrócenie robota do miejsca rozpoczęcia przez niego ostatniego ruchu, co jest niezbędne w chwili uderzenia o przeszkodę.

Kolejnym niezwykle istotnym problemem podczas opracowywania i realizacji edukacyjnego robota mobilnego okazało się rozwiązanie kwestii pomiaru liczby obrotów silników napędowych. Zastosowano w tym celu układ pomiarowy oparty na elektronicznych podzespołach optycznych. Zamontowano na osi silnika (rys. 4) przesłonę z plastiku, która została umieszczona na drodze wiązki światła z nadajnika N do odbiornika O. Jako nadajnik wykorzystano diodę emitującą światło podczerwone modulowane częstotliwością 38 kHz. Scalony odbiornik podczerwieni TFMS 5380 jest czuły na tak zmodulowane światło, toteż każde przerwanie wiązki światła przez przesłonę powoduje krótką zmianę stanu wysokiego na wyjściu odbiornika, na stan niski. Dzieje się tak dwukrotnie podczas jednego obrotu.



Rys. 3 Sonar – zasada pomiaru odległości



Rys. 4 Licznik obrotów silnika prądu stałego

Ponadto istotnym problemem w nawigacji edukacyjnym robotem mobilnym okazał się również sposób komunikacji pomiędzy platformą robota, a komputerem sterującym jego pracą. W celu rozwiązania tej kwestii zastosowano dwa nadawczo-odbiorcze moduły firmy DANY. Umożliwiają one dwustronną, pół-duplexową transmisję danych z szybkością 1200 bitów na sekundę oraz wystarczający zasięg (do około 100 m). Urządzenia te pracują na ogólnodostępnym paśmie o częstotliwości 433 MHz, a moc nadajnika wynosi 6 mW, co zwalnia od obowiązku ubiegania się o licencję nadawcy. Takie możliwości urządzeń nadawczo-odbiorczych okazały się w pełni wystarczające z punktu widzenia zastosowań laboratoryjnych. Następnie zaprojektowano i wykonano odpowiedni, dwukierunkowy konwerter standardu RS-232 na sygnał wymagany przez nadajnik-odbiornik. Wybór łącza transmisyjnego RS-232 wydaje się oczywisty ze względu na istnienie tego rodzaju portu, zarówno po stronie komputera PC jak i po stronie mikrokontrolerów z rodziny MCS'51 [3].

2.3. Wyniki eksperymentów edukacyjnego robota mobilnego

Przedmiotem przeprowadzonych eksperymentów z udziałem edukacyjnego robota mobilnego, było określenie precyzji oraz zasięgu jego działania w określonych (laboratoryjnych) warunkach pracy. Na tej podstawie stwierdzono, m.in., że:

- przeszkody o dużych powierzchniach, ustawione prostopadle do wiązki ultradźwięków, są odbijane najlepiej – sonar wykrywa je z odległości nawet dwóch metrów;

- jeśli kąt padania wysyłanej z sonaru wiązki ultradźwięków jest mniejszy od 45° , wówczas przeszkody nie są zauważalne;
- istotną rolę odgrywa rodzaj powierzchni, na którą pada wiązka ultradźwięków wysyłanych z sonaru, bowiem im jest powierzchnia bardziej chropowata, tym lepiej wykrywane są przeszkody ustawione pod kątem większym od 45° ;
- sonar nie nadaje się do detekcji przeszkód charakteryzujących się wypukłościami w kształcie trójkąta o kącie ostrym lub prostym, gdyż powstają wówczas przekłamanie polegające m.in. na generowaniu obrazu ścianki przeszkody w narożniku, w którym ona fizycznie nie istnieje – zjawisko to związane jest z podwójnym odbiciem fali ultradźwiękowej od obu ścian leżących na ramiona kąta prostego;
- wysokość przeszkód wykrywanych przez robota powinna wynosić co najmniej 40 cm, ze względu na usytuowanie głowicy sonaru;
- podczas eksploracji terenu robot sprawnie omija przeszkody lewym bokiem i penetruje wnęki o minimalnej szerokości wynoszącej 80 cm;
- zarys otoczenia, w którym porusza się robot jest wizualizowany na ekranie komputera PC w odpowiedniej skali, z dokładnością do 5 cm.

3. ROBOTY MOBILNE WYKORZYSTYWANE DO EKSPLOKACJI MARSA

Roboty mobilne wykorzystywane do eksploracji kosmosu należą do grupy urządzeń, przed którymi naukowcy stawiają najwyższe wymagania. Jest to związane z szeregiem czynników, do których z pewnością należy zaliczyć:

- liczne problemy natury technicznej, jakie należy rozwiązać z punktu widzenia transmisji sygnałów na duże odległości, źródeł zasilania systemów robota, czy warunków zewnętrznych, na które robot jest narażony podczas swej pracy (ukształtowanie terenu, stopień zapylenia, znaczne zmiany temperatur itp.);
- aspekty ekonomiczne, bowiem wysłanie robota w przestrzeń kosmiczną związane jest z potężnymi nakładami finansowymi, a każde jego uszkodzenie dodatkowo te koszty potęguje lub też powoduje, że są one bezpowrotnie utracone – w przypadku braku możliwości dokonania naprawy.

Do grupy najnowocześniejszych robotów mobilnych wykorzystanych do eksploracji kosmosu należą dwa bliźniacze roboty (Spirit i Opportunity), które na początku tego roku bezpiecznie wylądowały na powierzchni Czerwonej Planety. Celem badań przeprowadzanych przez te urządzenia jest przesłanie na Ziemię jak największej liczby informacji o Marsie, m.in. chociażby dotyczących ukształtowania jego powierzchni czy potwierdzających hipotezę o istnieniu wody na jego powierzchni i ewentualnego związanego z tym życia. Badania te mają stać się preludium do planowanej za około 15 lat załogowej eksploracji Marsa, której częścią byłby powrót w ciągu najbliższej dekady, astronautów na Księżyc i budowa na jego powierzchni odpowiedniej bazy kosmicznej.

Przykładowe widoki bliźniaczych robotów (Spirit i Opportunity) wykorzystanych do eksploracji Marsa przedstawiono odpowiednio na rys. 5 i rys. 6 [4].



Rys. 5 Robot mobilny do eksploracji Marsa – widok z przodu



Rys. 6 Robot mobilny do eksploracji Marsa – widok z góry

Przedstawione na rys. 5 i rys. 6 roboty wyposażone są w szereg urządzeń umożliwiających prowadzenie badań. Do najważniejszych spośród nich należy zaliczyć [5]:

- podstawowe narzędzie obserwacji, jakim jest kamera (stereo) wysokiej rozdzielczości, umożliwiająca wykonywanie zdjęć (w tym również zdjęć trójwymiarowych) o rozdzielczości 1024x1048 pikseli;
- kamera określana skrótem NAVCAM służąca do nawigacji robota oraz kamera FRONT HAZCAM umożliwiająca wykrywanie przeszkód na drodze pojazdu marsjańskiego;
- automatyczne ramie robota z zamontowanymi na nim instrumentami badawczymi, takimi jak: MI – mikroskop służący do wykonywania zdjęć badanych próbek w powiększeniu, RAT – urządzenie do ścierania powierzchni skał (umożliwiające wydrążenie otworu o średnicy 45 mm i głębokości 5 mm) celem dostania się instrumentów badawczych do ich wnętrza, MB – Spektrometr Mossbauera umożliwiający zbadanie pobranych próbek na zawartość żelaza, na podstawie charakterystyki jąder atomowych żelaza występującego na Marsie z użyciem izotopu kobaltu, APXP – Spektrometr Rentgenowski pozwalający zbadać w pobranych próbkach zawartość pierwiastków takich jak: chlor, chrom, fosfor, glin, krzem, magnez, mangan, potas, siarka, sód, tlen, tytan, wapń oraz wodór;
- teleskopowy wysięgnik z kamerami oraz miniaturowym Spektrometrem Termicznym, którego zadanie polega na badaniu otaczającego go terenu w paśmie podczerwieni, w wyniku czego uzyskuje się pomiary temperatury, ilości ciepła absorbowanego przez twory geologiczne (np. skały) oraz profile termiczne atmosfery marsjańskiej;
- SOLAR ARRAYS – panele baterii słonecznych oraz WEB – system utrzymujący odpowiednią temperaturę pracy łazika;
- anteny HGL i LGL umożliwiające przesyłanie danych na Ziemię lub do znajdujących się na orbicie tzw. orbiterów z poprzednich misji marsjańskich;
- przyrząd do zbierania próbek pyłu magnetycznego (CAPTURE FILTER MAGNETS).

4. PODSUMOWANIE ORAZ WNIOSKI

W referacie przedstawiono szereg zagadnień związanych z tematyką robotów mobilnych z autonomiczną nawigacją. Dotychczasowy stan zagadnień związanych z konstrukcją

robotów mobilnych opisano poczynając od przedstawienia prostego robota edukacyjnego opracowanego i wykonanego do celów dydaktycznych, a kończąc na zaawansowanej konstrukcji robotów wykorzystywanych do eksploracji kosmosu. Ponadto na podstawie przedstawionych w referacie zagadnień wysnuto wnioski na temat dalszych kierunków rozwoju robotów mobilnych, które z pewnością będą doskonalone na potrzeby badań coraz dalszych zakątków wszechświata, m.in. w poszukiwaniu wody oraz życia.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Grono A., Redlarski G.: *Educational Mobile Robot*. Proceedings of seminar on electrical engineering. BSE'2003. Istebna – Zaolzie, 21 – 24 września 2003.
2. Grono A. J., Szypliński M.: *Problemy nawigacji w robotach mobilnych*. III konferencja Awioniki WARMIA 2001. Waplewo k/Olsztyna, 12-15 września 2001. Materiały konferencyjne wydane jako ZNPR, z. 56, Tom 2, str. 487-494.
3. Kotani S., Kaneko K., Shinoda T., Mori H.: *Mobile Robot Navigation Based on Vision and DGPS Information*, Proceedings of the 1998 IEEE, International Conference on Robotics & Automation, Leuven, Belgium-May 1998, str. 2524-2529.
4. Strona, internetowa BBC: <http://www.bbc.co.uk/polish/040125052806.shtml>
5. Strona, internetowa Mars Society Polska: <http://www.marssociety.pl/index.html>

THE MOBILE ROBOTS WITH AUTONOMOUS NAVIGATION – ACTUAL STATE OF KNOWLEDGE AND PROSPECT ON THE NEXT YEARS

The paper, based on the educational mobile robot, which was made to the laboratory researches, describes the most important issues in mobile robots navigation. Thereby the answers valid questions was given, which are related to the mobile robot construction problems. The way of solution the space positioning problem was described. Additionally the environmental data acquisition (e.g.: about obstacles) problem and the decision making linked to the moving into the terrain was depicted. This paper contains also the answers following questions: how to achieve the high computational power on usually small mobile platforms and what is the most advantageous kind of power source from the point of view of the robot which satisfies certain functions. Furthermore, the most interesting research results of the developed mobile robot were described. The perspectives of further development of mobile robots with autonomous navigation (with special emphasis on robots which are destined to the outer space explorations) for the next years was depicted.