

Na prawach rękopisu

INSTYTUT CYBERNETYKI TECHNICZNEJ
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Raport serii SPR nr 37/2002

Kulisty robot mobilny RoBall

(projekt wstępny)

Marek Kabała
Marek Wnuk

Słowa kluczowe: robot mobilny, napęd elektryczny, mikrokontroler, sterownik

Wrocław 2002

Spis treści

1	Wstęp	4
1.1	Wyniki dotychczasowych prac badawczych	4
1.2	Zmiany proponowane w wyniku doświadczeń	5
2	Konstrukcja mechaniczna robota RoBall	5
2.1	Napędy	7
3	Sterownik robota RoBall	8
3.1	Mikrokontroler MPC555	9
4	Oprogramowanie sterownika	10
5	Przewidywane zakupy aparaturowe	12
5.1	Moduły napędowe	12
5.2	Moduł mikrokontrolera MPC555	12
5.3	Moduły do komunikacji radiowej	13
5.4	Oprogramowanie uruchomieniowe dla MPC555	13
6	Uwagi końcowe	14

Spis rysunków

1	Zarys konstrukcji mechanicznej robota RoBall	6
2	Struktura sprzętowa otwartego sterownika	8
3	Struktura oprogramowania swobodnie programowalnego sterownika	11

Spis tablic

1	Podstawowe parametry mechaniczno–elektryczne RoBall	7
2	Parametry silników RE-max 21 CLL	7
3	Parametry modułu phyCORE–MPC555	13
4	Parametry modułu transmisji radiowej HW86010	13

1 Wstęp

Pomysł konstrukcji laboratoryjnego robota kulistego powstał w Zakładzie Podstaw Cybernetyki i Robotyki w związku z badaniami na temat osobliwości kinematyki robotów nieholonomicznych [2]. Wstępną koncepcję konstrukcji robota nazwanego **RoBall**, ze szczególnym uwzględnieniem metody napędu została przedstawiona na posiedzeniu Seminarium ZPCiR w dniu 04.05.2000.

Na podstawie prac dotyczących osobliwości kinematyki robota kulistego poruszającego się na płaszczyźnie [2] zdecydowano się na odniesienie momentów napędowych, dostarczanych przez dwa silniki, do wahadła zawieszonoego w środku kuli z dwoma obrotowymi stopniami swobody uzyskanymi dzięki idei przegubu Cardana.

W celu zbadania podstawowych założeń odnośnie napędu i pomiaru parametrów ruchu rozpoczęto realizację dwukołowego, nieholonomicznego robota mobilnego, nazwanego **MK**. Wyniki prac nad robotem MK, dotyczących zarówno konstrukcji robota, jak i jego modelu i algorytmów sterowania zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych [3, 5, 6], pracach dyplomowych [9, 10] i raportach [4, 8].

Niniejszy raport zawiera opis wstępnego projektu i koncepcji realizacji robota kulistego RoBall. Projekt ten jest jednym z zadań pracy naukowej finansowanej ze środków KBN w latach 2002–2004 jako projekt badawczy.

1.1 Wyniki dotychczasowych prac badawczych

W ramach wspomnianych wcześniej prac nad robotem MK prowadzono badania w zakresie:

- idei napędu,
- pomiaru parametrów ruchu,
- koncepcji otwartego sterownika.

Napęd kół robota MK jest realizowany przez dwa silniki zamocowane do korpusu, zawieszonoego jako wahadło na ich osi (bez dodatkowych punktów styku z podłożem). Wymaga to uwzględnienia dynamicznych własności robota przy projektowaniu algorytmów sterowania.

Do pomiaru położenia kąowego korpusu względem pionu zastosowany został dwuosiowy akcelerometr ADXL202 o rozdzielczości 5mg i zakresie pomiarowym $\pm 2g$. Dodatkowy pomiar prędkości kąowej jest możliwy dzięki zastosowaniu żyroskopu ENC03J firmy MuRata, o zakresie pomiarowym $\pm 300^\circ/s$.

Robot został wyposażony w autonomiczny sterownik o otwartej konstrukcji. Wszystkie funkcje sterowania i obsługi czujników są wykonywane lokalnie. Komunikacja z komputerem nadrzędnym i (ewentualnie) z operatorem służy jedynie do zadawania parametrów ruchu i odczytywania pomiarów z czujników oraz modyfikowania programu sterownika.

Oprogramowanie wykorzystuje koncepcję swobodnie programowalnego sterownika [1], która zapewnia użytkownikowi łatwe implementowanie w języku C własnych algorytmów sterowania. Wykorzystywanie procedur jądra do obsługi urządzeń zewnętrznych zwalnia użytkownika z obowiązku znajomości technicznych szczegółów budowy sterownika. Chcąc zrealizować własny algorytm sterowania trzeba zainicjalizować własne zmienne robocze, dostarczyć jednokrokową funkcję algorytmu sterowania i (ewentualnie) zdefiniować funkcje rejestrów MODBUS do komunikacji z komputerem nadrzędnym.

1.2 Zmiany proponowane w wyniku doświadczeń

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wskazują na konieczność dokonania zmian mających na celu poprawienie własności robota MK (a w rezultacie – również robota kulistego RoBall):

- zastosowanie w sterowniku zmiennoprzecinkowego procesora,
- ulepszenie metody pomiaru przyspieszeń i kątów.

Zastosowany w robocie MK [4] 32-bitowy mikrokontroler MC68332 nie jest wyposażony w jednostkę zmiennoprzecinkową, co utrudnia efektywne implementowanie rozbudowanych algorytmów sterowania opartych na modelu dynamiki [6, 9]. Postulowane jest wbudowanie do sterownika wydajnej jednostki arytmetycznej obsługującej w sposób sprzętowy liczby zmiennoprzecinkowe podwójnej precyzji.

Metoda pomiaru kąta odchylenia korpusu wahadła od pionu oparta na analizie bezpośrednich pomiarów chwilowych wartości przyspieszeń w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach i ustalaniu znaku prędkości kątowej mierzonej żyroskopem daje wyniki, które wymagają filtrowania w celu zmniejszenia wrażliwości na błędy dyskretyzacji. Zaobserwowano równocześnie, że wynik całkowania pomiaru z żyroskopu nie wymaga filtrowania. Stąd pojawił się pomysł oparcia metody pomiaru położenia kątowego na całkowaniu prędkości kątowej i wykorzystaniu akcelerometrów tylko do korygowania zera układu pomiarowego.

2 Konstrukcja mechaniczna robota RoBall

Korpus robota będzie miał formę sfery, wewnątrz której będą się znajdowały wszystkie elementy potrzebne do zasilania, napędu i sterowania robotem (rys. 1).

Na jednej z osi sfery, symetrycznie na każdym z biegunów, będą umieszczone tuleje łączące osie modułów napędowych z zewnętrzną sferą. Obudowy modułów napędowych będą połączone pierścieniem o średnicy zbliżonej do średnicy sfery. Pierścień ten będzie podstawą całej wewnętrznej konstrukcji mechanicznej.

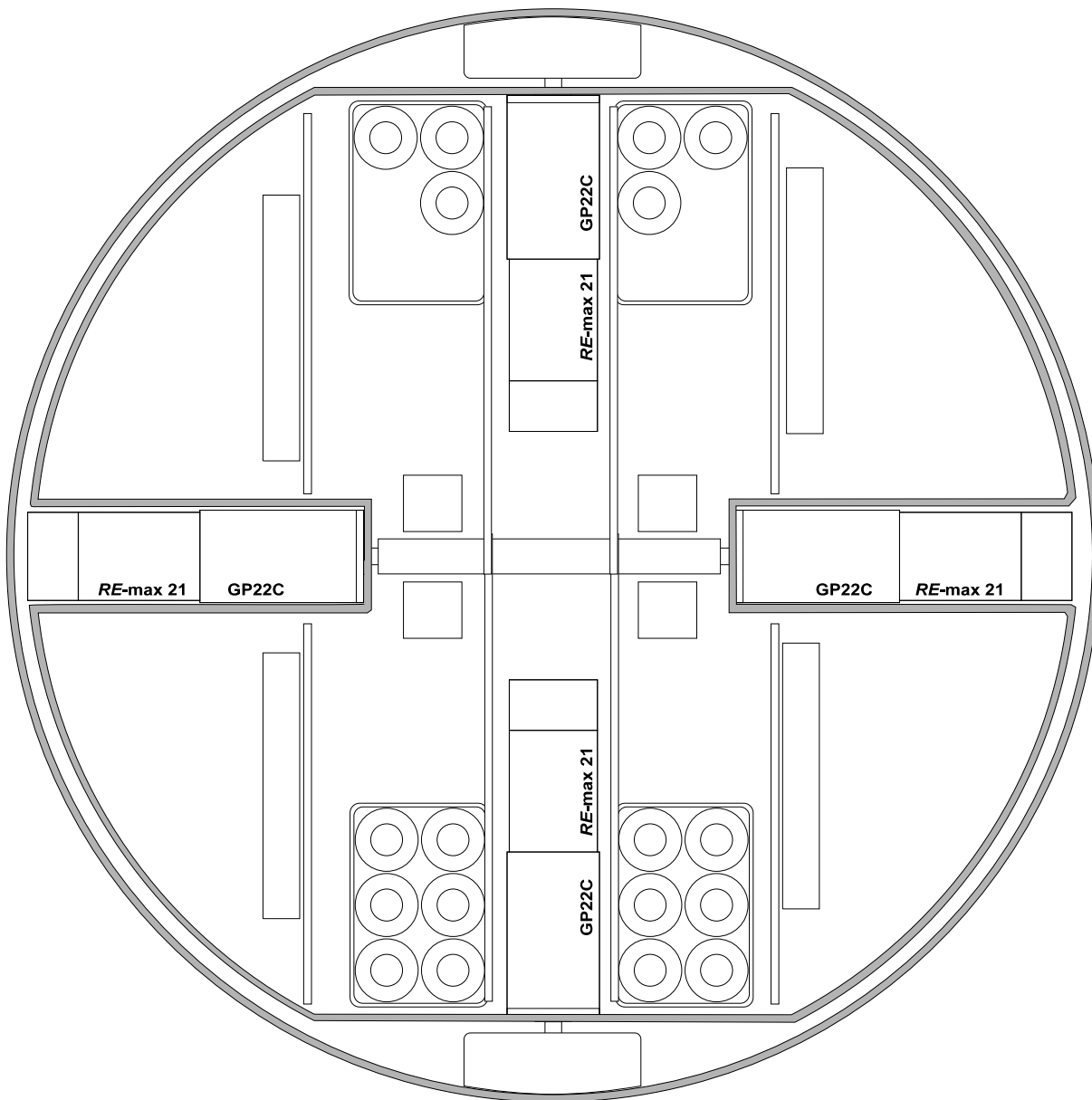
W osi pierścienia prostopadłej do osi modułów napędowych połączonych z zewnętrzną sferą będą umieszczone dwa kolejne moduły napędowe. Osie tych modułów będą skierowane do wnętrza sfery i połączone tuleją. Na tulei zostanie zamocowana ramka z zawieszonymi akumulatorami oraz układami pomiarowymi umożliwiającymi wyznaczenie pozycji ramki.

Źródłem momentu napędowego będzie przemieszczana za pomocą silników masa akumulatorów. Proponowana konstrukcja umożliwi ułożenie przemieszczanej masy symetrycznie lub asymetrycznie względem osi robota. Dzięki temu możliwe będzie zbadanie dwóch różnych wariantów sterowania.

Przy symetrycznym rozłożeniu masy moment napędowy wytwarzany będzie dzięki bezwładności przemieszczanej masy.

W przypadku zabudowy asymetrycznej przemieszczana masa będzie tworzyć wahadło, a moment napędowy będzie sumą momentu wytwarzanego przez zmianę położenia środka ciężkości oraz momentu wynikającego z bezwładności.

Układy elektroniczne będą umieszczone wewnątrz pierścienia. Zaletą umiejscowienia źródła zasilania na ruchomej ramce jest wykorzystanie masy akumulatorów do wytwarzania momentu napędowego. Wadą tego rozwiązania jest brak możliwości połączenia akumulatorów z układami elektronicznymi za pomocą przewodu, ze względu na wzajemne zmiany położenia tych elementów. Z tego



Rysunek 1: Zarys konstrukcji mechanicznej robota RoBall

względem na osiach silników sprzężonych z ramką zostaną umieszczone dwa połączenia ślizgowe. Napięcie z akumulatorów zostanie podłączone do bieżni, po których będą się ślizgać metalowe bądź grafitowe szczotki zapewniające połączenie elektryczne.

Tablica 1: Podstawowe parametry mechaniczno–elektryczne RoBall

średnica kuli	0.27 m
masa całkowita	1.2 kg
masa modułów napędowych	0.45 kg
masa akumulatorów	0.3 kg
moment bezwładności wahadła	0.003 kgm ²
moment napędowy (na oś)	0.375 Nm
moc mechaniczna (na oś)	5.22 W
maksymalna prędkość	13.9 rad/s
napięcie zasilania	14.4 V
maksymalny prąd całkowity	1.6 A

2.1 Napędy

Po doświadczeniach robotem MK, jako moduły napędowe zostaną wykorzystane podzespoły oferowane przez firmę Maxon. Każdy z czterech modułów będzie się składał z silnika prądu stałego z trwałym magnesem RE-max 21, ceramicznej, trzystopniowej przekładni planetarnej GP22C o przełożeniu 1:53, oraz kodera przyrostowego MR.

Tablica 2: Parametry silników RE-max 21 CLL

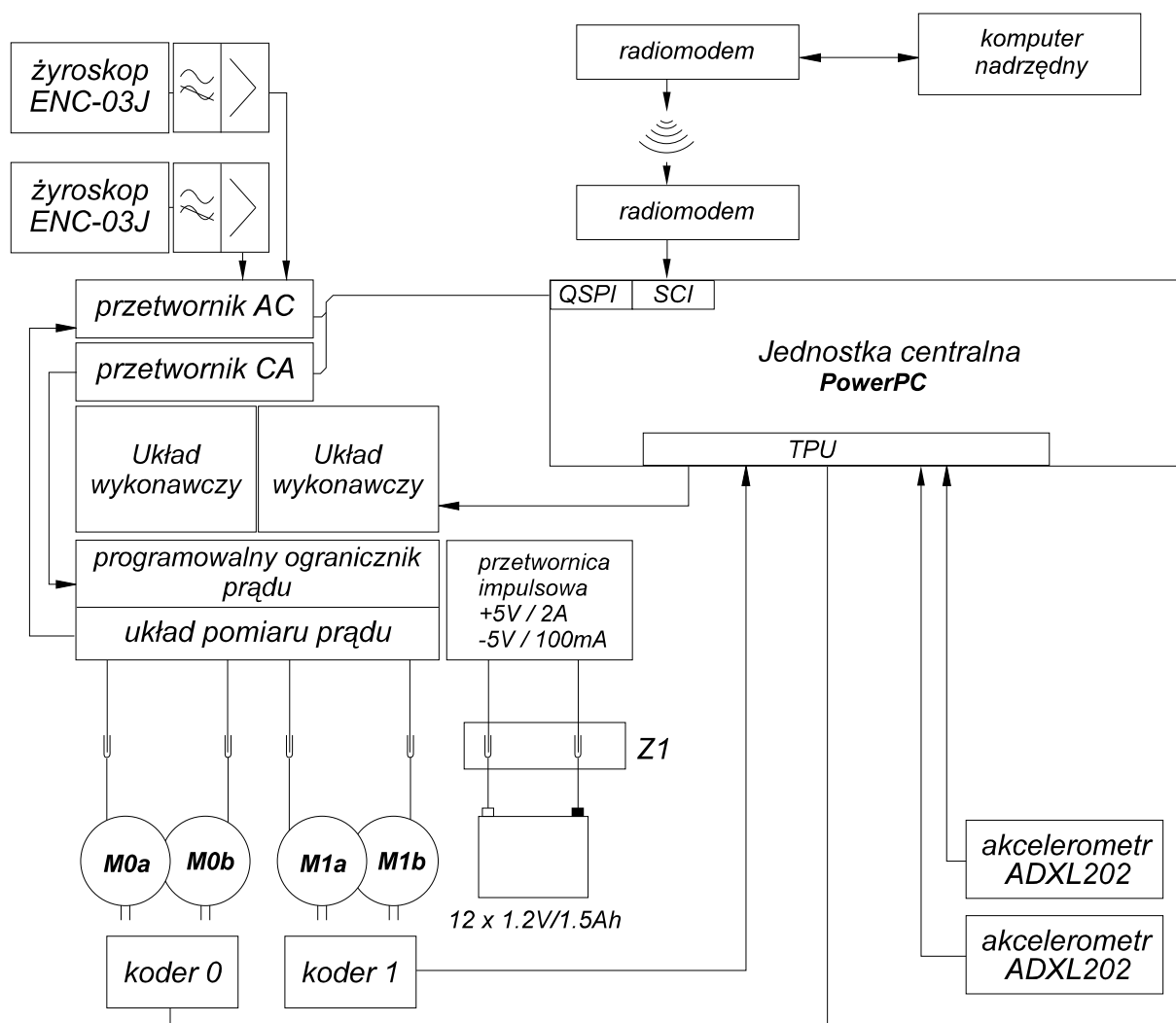
moc nominalna	5 W
moment maksymalny	27.5 mNm
moment przy pracy ciągłej	6.8 mNm
moment bezwładności wirnika	0.2·10 ⁻⁶ kgm ²
prędkość bez obciążenia	8600 obr/min
prędkość dopuszczalna	10600 obr/min
mechaniczna stała czasowa	7 ms
masa	0.042 kg
napięcie nominalne	12 V
rezystancja	5.77 Ω
prąd startowy	2.08 A
dopuszczalny prąd przy pracy ciągłej	515 mA
prąd bez obciążenia	11 mA
sprawność	86 %

Moc zastosowanych silników pozwoli na obrót wewnętrznej ramki z akumulatorami z prędkością ok. 2 obrś. Jako źródło zasilania zostanie wykorzystane 12 akumulatorów o rozmiarze AA wykonanych w technologii NiMH lub NiCd, o pojemności rzędu 1.5Ah każdy. Pozwolą one na ponad godzinną pracę ciągłą robota.

3 Sterownik robota RoBall

Wózek został wyposażony w sterownik pozwalający zachować pełną autonomię pojazdu. Wszystkie funkcje sterowania i obsługi czujników są wykonywane lokalnie. Komunikacja z komputerem nadrzędnym i (ewentualnie) z operatorem służy do zadawania parametrów ruchu, modyfikowania oprogramowania sterownika, odczytywania parametrów ruchu i pomiarów z czujników.

Schemat blokowy sterownika przedstawiono na rys. 2.



Rysunek 2: Struktura sprzętowa otwartego sterownika

Podstawowe bloki funkcjonalne to:

- jednostka centralna,
- układy wykonawcze z zadawaniem napięcia i prądu,
- układ odczytu koderów impulsowych,
- przetworniki CA i AC,

- dwa żyroskopy piezoceramiczne,
- dwa akcelerometry dwuosiove,
- układ komunikacji radiowej,
- impulsowe układy zasilające.

Mechanicznie sterownik jest zaprojektowany w postaci dwóch płytek drukowanych o kształcie kołowym zamocowanych symetrycznie do ramy nośnej robota zawieszonych w biegunach sfery (rys. 1). W pierwszej wersji sterownika przewidziano użycie jako jednostki centralnej sterownika fabrycznego modułu uruchomieniowego z mikrokontrolerem MPC555, połączonego mechanicznie i elektrycznie z jedną z płyt za pomocą wielostykowych łączówek.

W układach wykonawczych przewidziano zastosowanie scalonych mostków mocy BTS7710GP firmy Infineon zapewniających przy zwartej budowie maksymalny prąd do 10 A. Układy regulacji prądu zostaną wykonane w oparciu o doświadczenia z robota MK [8], z zadawaniem napięciowym przez 12-bitowy przetwornik CA.

Odczyt koderów impulsowych (położenia i prędkości silników) zapewnią odpowiednie funkcje TPU3 (*Time Processor Unit*) zawartego w MPC555.

W celu zapewnienia poprawnego pomiaru przyspieszeń liniowych i prędkości kątowych w dwóch płaszczyznach niezbędne jest umieszczenie co najmniej części czujników pomiarowych bezpośrednio na wahadle. Rozwiązania wymaga problem szybkiego przekazywania danych do jednostki centralnej sterownika przy zachowaniu pełnej swobody ruchu wahadła. Proponowane rozwiązanie polega na użyciu dodatkowego, lokalnego mikrokontrolera (HCS12 lub HC08) umieszczonego wraz z czujnikami i układem zasilania na wahadle. Wstępnie przetworzone dane pomiarowe będą przekazywane wewnątrz sfery w sposób ciągły za pomocą jednokierunkowej transmisji bezprzewodowej z wykorzystaniem podczerwieni.

Komunikacja z komputerem nadrzędnym będzie możliwa dzięki dwukierunkowemu łączu radiowemu. Dla robota MK opracowano zmodyfikowany protokół MODBUS pozwalający zastosować moduły radiowe BiM-2 firmy Radiometrix [7]. W opisywanym projekcie można zastosować to samo rozwiązanie, lub wykorzystać moduły DECT stosowane w telefonach bezprzewodowych. Mają one tę zaletę, że nie wymagają dodatkowej modulacji sygnału danych i zapewniają większą prędkość transmisji.

3.1 Mikrokontroler MPC555

Jako jednostkę centralną zastosowano w sterowniku mikrokontroler firmy Motorola MPC555 o bogatych zasobach:

- Jednostka centralna – 32-bitowy RISC:
 - architektura PowerPC (52.7 K Dhrystone (v.2.1) @ 40 MHz),
 - wbudowana jednostka zmiennoprzecinkowa podwójnej precyzji,
 - układy testowo–uruchomieniowe (OnCE);
- Wbudowane pamięci:
 - 26Kb RAM + 6Kb RAM dla mikro kodu TPU,
 - 448Kb FLASH EEPROM;
- Układy transmisji szeregowej (QSMCM):

- QSPI – kolejka do 32 zadań, 8-16 bitów,
- 2 × SCI – zewnętrzny zegar transmisji;
- 2 × CANbus (TouCAN);
- Układu czasowo–licznikowe:
 - 2 × TPU3 – 32 mikroprogramowane kanały,
 - MIOS1 – m.in. 8 × PWMSM;
- 32 wejścia analogowe (10-bitowe) – 2 × QADC64.

Dzięki temu, że układy peryferyjne MPC555 stanowią nadzbiór zasobów mikrokontrolera MC68332 stosowanego w sterowniku robota MK, łatwo przenieść obsługę poszczególnych bloków sterownika w nowe środowisko. Znaczna moc obliczeniowa procesora, zwłaszcza w zakresie arytmetyki zmienno-przecinkowej, powinna pozwolić na efektywne implementowanie algorytmów sterowania wykorzystujących model dynamiki robota (co ma zasadnicze znaczenie w przypadku projektu RoBall).

4 Oprogramowanie sterownika

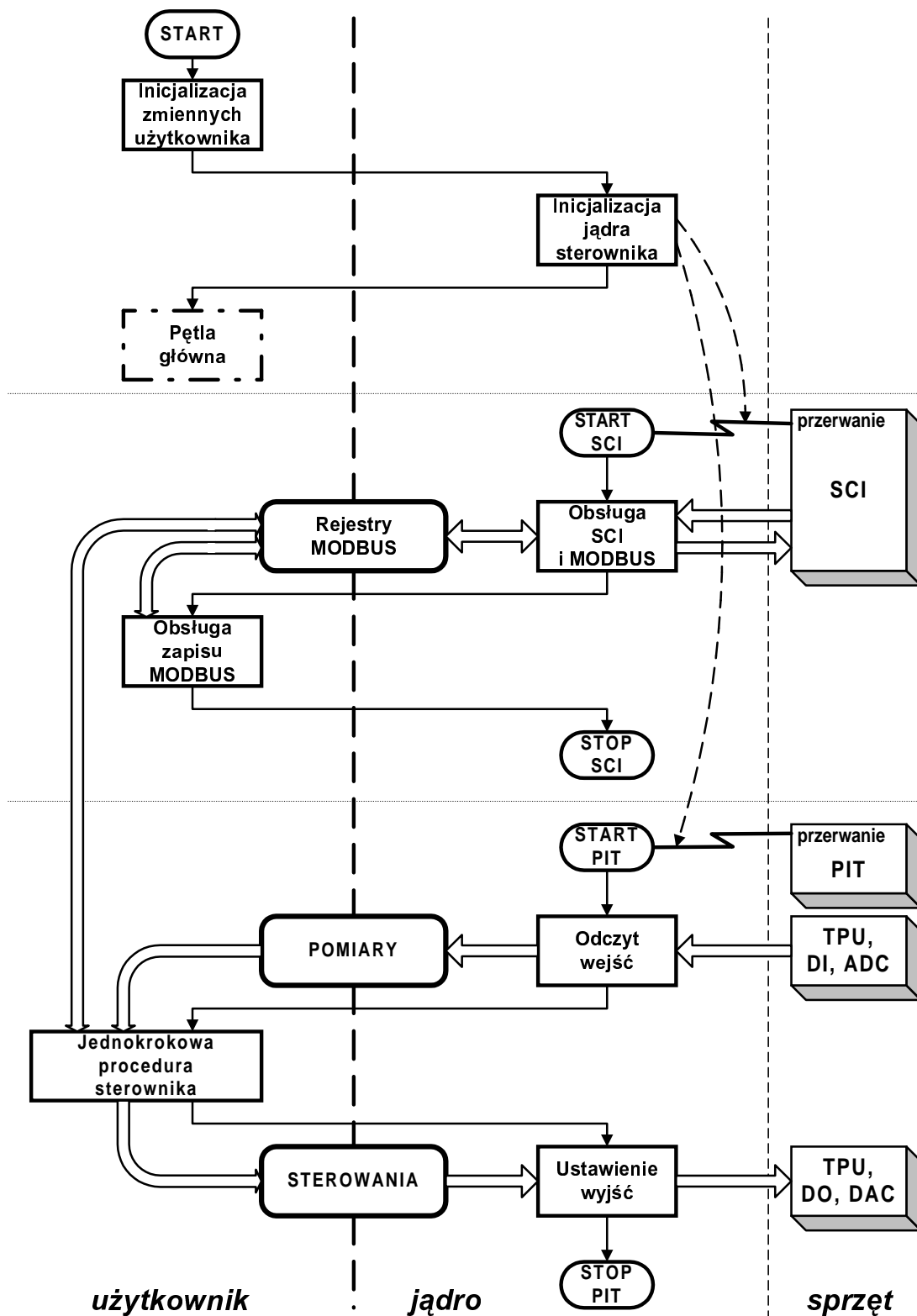
Wykorzystana w projekcie koncepcja swobodnie programowalnego sterownika [1] zapewnia łatwe implementowanie własnych algorytmów w sterowniku autonomicznego robota mobilnego. Szkic struktury tego oprogramowania przedstawiono na rys. 3.

Przygotowane w ramach projektu jądro sterownika (rys. 3) zawiera procedury i definicje struktur danych umożliwiające eksperymentatorowi implementowanie własnego algorytmu sterowania bez szczegółowej znajomości zastosowanego w sterowniku sprzętu:

- **Inicjalizacja jądra sterownika** (sprzętu i globalnych struktur danych);
- **Obsługa SCI i MODBUS** (komunikacja z komputerem nadrzędnym w standardzie MODBUS);
- **Obsługa cyklicznego przerwania PIT**, w czasie której następuje kolejno:
 - **Odczyt wejść** (mierzonych sygnałów z obiektu),
 - wywołanie funkcji realizującej jeden krok algorytmu użytkownika,
 - **Ustawienie wyjść** (wyliczonych sygnałów sterujących).

Użytkownik (eksperymentator), chcąc zrealizować własny algorytm sterowania musi dostarczyć (napisać w języku C) następujące moduły sterownika:

- **Inicjalizacja zmiennych użytkownika** (własnych zmiennych roboczych);
- **Pętla główna** (procedury pomocnicze - może być pusta);
- **Jednokrokowa procedura sterownika** (funkcja, której wejściami są bieżące wartości dostępnych w sterowniku pomiarów, a wyjściami - wyliczone zgodnie z implementowanym algorytmem wartości sygnałów sterujących);
- **Obsługa zapisu MODBUS** (procedura reagująca na zdalny wpis do wybranych rejestrów MODBUS, o ile jest potrzebna komunikacja z komputerem zdalnym).



Rysunek 3: Struktura oprogramowania swobodnie programowalnego sterownika

Struktury danych zapewniające komunikację między częścią użytkownika a jądrem to:

- **POMIARY** – chwilowe wartości mierzonych i obliczanych parametrów (prędkości, przyspieszenia, kąty, prądy itp.);
- **STEROWANIA** – wytworzone przez jednokrokovą procedurę sterownika wartości sygnałów sterujących (prądy i napięcia zadane itp.);
- **Rejestry MODBUS** – tablica zmiennych do dwukierunkowej asynchronicznej komunikacji z komputerem nadrzędnym (do zdefiniowania przez użytkownika - nastawy sterownika, komendy ruchu, odczytywane wielkości pomiarowe itp.).

Utworzenie kompletnego programu wymaga dokonania kompilacji własnych modułów przy pomocy narzędzi skrośnych (pakiet CodeWarrior) pracujących na komputerze klasy PC i połączenia ich z modułami jądra. Wynikowy program w postaci np. S-rekordów może zostać załadowany do pamięci FLASH jednostki centralnej sterownika za pośrednictwem łącza szeregowego lub interfejsu OnCE i uruchomiony po zrestartowaniu sterownika.

5 Przewidywane zakupy aparaturowe

Do realizacji projektu będą niezbędne następujące zakupy aparaturowe:

- Moduły napędowe;
- Moduł mikrokontrolera MPC555;
- Moduły do komunikacji radiowej;
- Oprogramowanie uruchomieniowe dla MPC555.

5.1 Moduły napędowe

Na podstawie pozytywnych wyników doświadczeń przy konstruowaniu robota MK [8] wybrano moduły napędowe firmy MAXON:

- silnik RE-max 21 CLL,
- przekładnia GP22C,
- koder MR.

Podstawowe parametry silnika podano w tabeli 2, przełożenie przekładni planetarnej GP22C wynosi 1:53, a rozdzielczość kodera przyrostowo-impulsowego MR – 512 impulsów/obrót.

5.2 Moduł mikrokontrolera MPC555

Rozważano następujące moduły dostępne w handlu:

- phyCORE-MPC555 (PHYTEC),
- 555-lite (Wuertz),
- PB-0555 (AXIOM).

Ze względu na małe rozmiary i bogate wyposażenie dodatkowe wybrano moduł phyCORE-MPC555 o parametrach podanych w tabeli 3.

Tablica 3: Parametry modułu phyCORE–MPC555

Wymiary	ok.75 mm x 57 mm
Jednostka centralna	32-bit MPC555/40 MHz (272-pin BGA)
Pamięci	do 4 MB SRAM, do 4 MB Flash-ROM
Opcje	IC-EEPROM, IC RTC
Interfejsy	2.0B CAN, QSPI, 2× UART (RS-232/TTL)
Przetwornik	2× 16 kan. A/D 10-bit
Debugger	BDM
Zasilania	5 V/50mA, 3.3 V/400 mA
Zakres temperatur	0 – 70 C lub -40 – 85 C n
MTBF	776765 godzin

5.3 Moduły do komunikacji radiowej

W projekcie robota MK wykorzystano moduły transmisji radiowej BiM–2 firmy Radiometrix o częstotliwości pracy 433 MHz. Wymagały one opracowania specjalnej modyfikacji protokołu MODBUS dla zapewnienia poprawnej pracy [7]. W projekcie RoBall przewidziano zastosowanie modułów DECT (stosowanych w telefonach bezprzewodowych), które zapewniają niezawodną transmisję z większą prędkością i na większe odległości. Parametry modułu HW86010 firmy Hoft&Wessel przedstawiono w tabeli 4.

Tablica 4: Parametry modułu transmisji radiowej HW86010

Wymiary	ok.52 mm x 37 mm x 8 mm
Masa	30 g
Zakres temperatur	-10 to +55 C
Zakres napięć	3.0 – 3.6 V część cyfrowa, 3.3 – 4.7 V część radiowa
Pobór prądu	100 – 150 mA
Częstotliwość	1.88 – 1.9 GHz
Moc emitowana	250 mW max.
Szybkość transmisji	4 x 26 kb/s
Interfejs danych	RS-232, 3.3V, do 115.2 KBd, RTS/CTS
Sygnaly modemowe	RTS/CTS, DTR/DSR, DCD, RI
Interfejsy dodatkowe	binarne we/wy, mikrofon, głośnik, sygnał dźwiękowy, PCM, I ² C
Anteny	2 wbudowane, złącze dla zewnętrznej
Zasięg	do 300 m (w terenie), do 60 m (w budynku)

5.4 Oprogramowanie uruchomieniowe dla MPC555

Jako środowisko do przygotowywania i testowania oprogramowania dla MPC555 przewiduje się pakiet Code Warrior CWEPCC firmy Metrowerks. W skład zestawu o nazwie CWDEVSYSMPC555 wchodzi pakiet uruchomieniowy MPC555 (AXIOM), interfejs DBI2000 (ABATRON) i CodeWarrior/OSEK zawierający:

- kompilator C/C++,
- graficzny debugger na poziomie źródłowym,
- szybki symulator,
- profiler i analizator kodu,
- programator pamięci FLASH.

Dołączono również wersje demonstracyjne systemu czasu rzeczywistego OSEK i biblioteki sterowników dla TPU.

6 Uwagi końcowe

Opisane stanowisko jest przewidziane do badania algorytmów sterowania ruchem robota mobilnego napędzanego względem wewnętrznego układu współrzędnych w oparciu o jego model dynamiki. Zastosowanie w sterowniku robota jednostki centralnej o dużej mocy obliczeniowej, wyposażonej w szybki układ zmiennoprzecinkowy (mikrokontroler MPC555 z procesorem RISC (PowerPC), dwoma blokami TPU, interfejsami szeregowymi, przetwornikiem analogowo-cyfrowym) ma szczególne znaczenie przy realizacji złożonych algorytmów sterowania.

Bibliografia

- [1] Gora S., Wnuk M., *VFMC - swobodnie programowalny sterownik napędu robota*, Raport SPR 13/97, Inst. Cyb. Techn. PWr, 1997,
- [2] Muszyński R., Tchoń K., *Singularities and mobility of nonholonomic systems: the ball rolling on a plane*, 6th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO'00, Vienna 2000, Preprints vol.1, ss. 259-264.
- [3] Kabała M., Tchoń K., Wnuk M., *Robot mobilny napędzany w układzie wewnętrznym*, VII KKR, Łądek Zdrój, 2001, Prace Naukowe ICT PWr., Konferencje 46, t.1, ss. 149-158.
- [4] Kabała M., Wnuk M., *Dwukołowy robot mobilny napędzany w układzie wewnętrznym (dokumentacja modelu)*, Raport SPR 21/2001, Inst. Cyb. Techn. PWr, 2001.
- [5] Kabała M., Tchoń K., Wnuk M., *Dwukołowy, nieholonomiczny robot mobilny*, Konferwncja Automation 2002, Warszawa, 2002, ss. 269-280.
- [6] Tchoń K., Kabała M., Wnuk M., *Algorytm śledzenia trajektorii robota mobilnego MK*, XIV Krajowa Konferencja Automatyki, Zielona Góra, 2002.
- [7] Wnuk M., *Komunikacja radiowa z robotem mobilnym MK*, Raport SPR 19/2002, Inst. Cyb. Techn. PWr, 2002.
- [8] Kabała M., Wnuk M., *Konstrukcja i oprogramowanie dwukołowego robota mobilnego*, Raport SPR 20/2002, Inst. Cyb. Techn. PWr, 2002.
- [9] Wronka C., *Model kinematyki i dynamiki robota nieholonomicznego*, Praca magisterska pod kierunkiem dr. inż. R. Muszyńskiego, ICT PWr., Wrocław, 2002.
- [10] Kabała M., *Sterowanie robotem mobilnym z uwzględnieniem jego własności dynamicznych*, Praca magisterska pod kierunkiem dr. inż. M. Wnuka, ICT PWr., Wrocław, 2002.
- [11] *MC68332 User's Manual*, MC68332UM/AD, Motorola Inc., 1991.
- [12] *Queued Serial Module Reference Manual*, QSMRM/AD, Motorola Inc., 1991.
- [13] *Time Processor Unit Reference Manual*, TPURM/AD, Rev.3, Mototrola Inc., 1996.

mgr inż. Marek Kabała
dr inż. Marek Wnuk
Instytut Cybernetyki Technicznej
Politechniki Wrocławskiej
ul. Janiszewskiego 11/17
50-372 Wrocław

Niniejszy raport otrzymują:

1. OINT - 1 egz.
2. Zleceniodawca - 2 egz.
3. Autorzy - 2 egz.

Razem : 5 egz.

Raport wpłynął do redakcji I-6
w grudniu 2002 roku.