
Modułowy robot mobilny Elektron*

Wojciech Szynkiewicz¹, Rafał Chojecki², Andrzej Rydzewski¹,
Marek Majchrowski¹, Piotr Trojanek¹

Streszczenie

Artykuł opisuje strukturę sprzętową i podstawowe oprogramowanie robota mobilnego Elektron R1. Zarówno konstrukcja mechaniczna robota, jak i jego układ sterowania mają budowę modułową. Baza jezdna jest sześciokołową platformą mobilną z napędem na wszystkie koła. Podstawowym elementem sterownika robota jest komputer pokładowy o dużej mocy obliczeniowej zbudowany na bazie jednopłytkowego mikrokomputera typu PC przeznaczonego do zastosowań wbudowanych. Oprócz podstawowych czujników odometrycznych oraz dalmierzy podczerwonych, robot może być wyposażony w dodatkowe moduły złożonych czujników takich jak: skaner laserowy z kamerą dookólną, głowica do skanowania trójwymiarowego oraz układ stereowizyjny.

1. WSTĘP

Robot mobilny Elektron R1 (rys. 1) został zaprojektowany i zbudowany w Instytucie Automatyki i Robotyki oraz Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Jest to autonomiczna platforma laboratoryjna przygotowana do badań nad systemami sterowania i nawigacji robotów mobilnych. Podstawowym założeniem przy projektowaniu układów sterowania tych robotów było przyjęcie modułowej struktury zarówno części sprzętowej jak i programowej sterowników, dzięki temu, w zależności od przyszłych potrzeb, ich rozbudowa nie będzie narażać na większych problemów. Możliwości takiego dostępu są zazwyczaj bardzo ograniczone w komercyjnych robotach mobilnych. Przy projektowaniu robota Elektron wykorzystano doświadczenia zdobyte podczas tworzenia wielu konstrukcji mechanicznych robotów mobilnych [1]. Moduły składające się na układ sterowania mają dobrze zdefiniowane interfejsy, metody komunikacji oraz ograniczenia jakim podlegają. Architektura sprzętowa i programowa sterownika ma hierarchiczną strukturę warstwową. Warstwa wykonawcza realizuje bezpośrednią obsługę sprzętu, w tym sterowanie silnikami oraz obsługę czujników. Warstwa decyzyjna realizuje zadania wyższego poziomu m.in. planowanie działań, nawigację robotem oraz komunikację między robotami. Założono, że układ sterowania powinien umożliwiać autonomiczne działanie robota.

Intensywny rozwój robotyki mobilnej w ostatnich dwóch dekadach zaowocował powstaniem wielu konstrukcji mechanicznych [3, 4] oraz architektur programowych robotów [9, 12]. Obecnie dominują architektury hybrydowe deliberatywno-reaktywne, najczęściej o strukturze warstwowej. Nie opracowano jak dotąd żadnego

*Praca jest finansowana przez grant MNiI: 3T11A0009/29

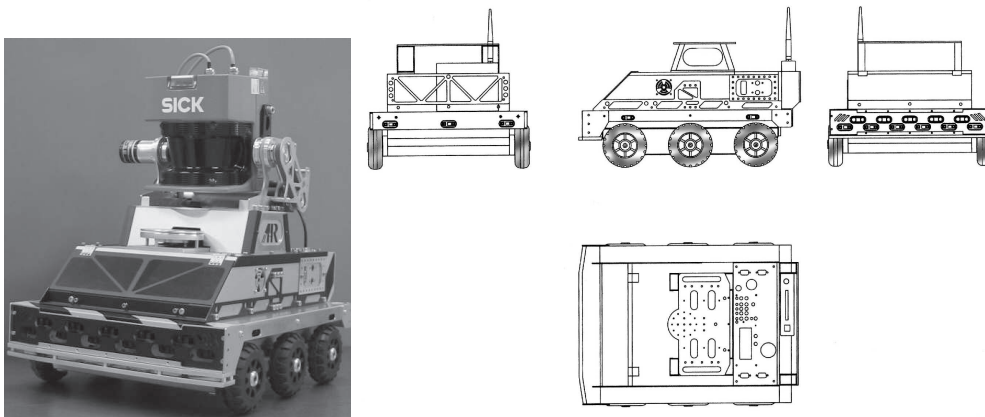
¹Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, W.Szynkiewicz@ia.pw.edu.pl

²Wydział Mechatroniki, Instytut Automatyki i Robotyki, ul. św. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa

standardu dla tego typu oprogramowania, aczkolwiek podejmowane są próby stworzenia otwartych środowisk programowania robotów z ogólnie dostępnymi źródłami, które próbują wyznaczać takie standardy [2,5–7,9]. W aktualnej wersji oprogramowania sterownika robota Elektron wykorzystano otwarte środowisko Player/Stage [7,12]. Zawiera ono m.in. bogatą bibliotekę sterowników różnych urządzeń, w tym czujników typowo montowanych w robotach mobilnych takich jak: dalmierze, skanery laserowe, kamery wizyjne, itp.

2. KONSTRUKCJA MECHANICZNA

Baza jezdna robota jest sześciokołową platformą mobilną z napędem na wszystkie koła (rys. 1). Jako założenia projektowe postawiono następujące wymagania: zwarta konstrukcja o stosunkowo niewielkich rozmiarach zbudowana z modułów, nośność 15kg, duża trwałość i niezawodność mechaniczna, możliwość poruszania się w pomieszczeniach zamkniętych i w terenie, możliwie duża zwrotność oraz autonomia działania. Robot ma budowę modułową i w jej skład wchodzi moduły napędowe, moduł centralny–rama, moduł sterowania, moduł stopnia mocy oraz wymienne moduły wykonawczo-sensoryczne. Bazowe podwozie ma wymiary $500 \times 380 \times 220\text{mm}$.



Rys. 1. Robot mobilny Elektron R1

Kadłub robota został wykonany z aluminium i całkowicie osłania wszystkie elementy układu sterowania i zasilania. W konstrukcji ramy wykorzystano prostokątne profile, dzięki czemu otrzymano lekką i sztywną konstrukcję nośną.

Zastosowany w robocie układ napędowy jest typu czołgowego: skręcanie odbywa się przez różnicowanie prędkości kół po prawej i lewej stronie robota. Do napędu pojazdu zastosowano dwa silniki prądu stałego o nominalnym napięciu zasilania 24V, ze zintegrowanymi przekładniami. Każdy z silników napędza trzy koła, odpowiednio po lewej i prawej stronie pojazdu. Dla zabezpieczenia przekładni silników przed obciążeniami pochodzącymi od podłoża, a tym samym zwiększenia ich trwałości, każde z kół ma własny zestaw łożysk. Takie rozwiązanie pozwoliło zwiększyć

obciążalność statyczną podwozia pojazdu do 100kg. Napęd z silników jest przekazywany na koła za pośrednictwem systemu przekładni z paskami zębatymi. Przekładnie zapewniają bezluzową i cichą pracę napędów. Oba napędy pojazdu zaprojektowano jako niezależne zintegrowane moduły. Pojedynczy moduł składa się z: korpusu, silnika napędowego wraz z przekładnią i enkoderem, systemu przekładni z paskiem zębatym oraz piast z łożyskami. W zabudowanym korpusie znajdują się wszystkie przekładnie oraz łożyska, dzięki czemu są całkowicie zabezpieczone przed zanieczyszczeniami. Oba moduły są identyczne i mogą być montowane zarówno po prawej jak i lewej stronie pojazdu. W pojeździe zastosowano koła o jednakowej średnicy wynoszącej 100mm. Moduły napędowe są przykręcane do spodu ramy i zabezpieczone dodatkowo dolną osłoną. Wraz z ramą tworzą zwartą i zamkniętą konstrukcję. Między modułami napędowymi znajdują się dwa 12V akumulatory, każdy o pojemności 7Ah.

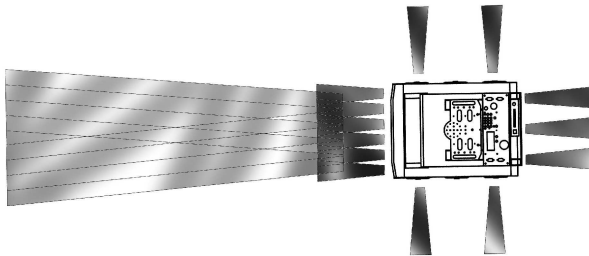
Komputer pokładowy wraz z modułami sterującymi został umieszczony nad układem napędowym. Dla zapewnienia wygodnego dostępu do układu sterującego został on umieszczony na łatwo demontowalnym panelu. W celu zabezpieczenia układów elektronicznych przed zakłóceniami zastosowano ekrany oddzielające je od silników oraz modułów mocy. W tylnej części robota, na pokrywie górnej, znajduje się panel sterowania zintegrowany z układem zasilania. Panel jest wyposażony w przełączniki odpowiedzialne za włączanie poszczególnych obwodów robota oraz aktywację napędów. W panelu znajdują się też: wyświetlacz informujący o stanie robota, przycisk stopu awaryjnego, gniazdo zasilania zewnętrznego i ładowania akumulatorów, gniazda portów komunikacji szeregowej oraz port sterownika ręcznego. Przez łącze sterownika możliwe jest sterowanie napędami bez udziału komputera pokładowego. Jest to szczególnie przydatna funkcja podczas przestawiania robota. Źródłem zasilania robota są dwa akumulatory 12V połączone szeregowo lub zewnętrzny zasilacz o napięciu 24V. Układ zasilania wyposażony został w przetwornice, dzięki którym na pokładzie robota dostępne są napięcia 5V, 12V i 24V.

3. PODSTAWOWE CZUJNIKI ROBOTA

Robot Elektron R1 jest wyposażony w kilka niezależnych układów czujników. Do podstawowych należą: układ pomiaru odometrycznego oraz układ dalmierzy optycznych rozmieszczonych dookoła korpusu robota. Układ pomiaru odometrycznego składa się z dwóch przetworników obrotowo-impulsowych (enkoderów optycznych) umieszczonych w module napędowym. Zastosowano dwufazowe enkodery o rozdzielczości 1000 impulsów na obrót, dzięki czemu jest możliwy pomiar kąta obrotu kół z rozdzielczością 1/4000 pełnego obrotu. Ze względu na luzy występujące w przekładniach napędu i wynikającej z tego powodu możliwości powstawania stosunkowo dużych błędów, zrezygnowano z umieszczenia enkoderów na wałach silników. Pomiar prędkości obrotowej odbywa się bezpośrednio na osiach kół.

Układ dalmierzy optoelektronicznych służy do wykrywania przeszkód znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu robota. Czujniki pracują w paśmie podczerwieni, a pomiar dokonywany jest metodą triangulacyjną. Zastosowano dwa typy dalmierzy, krótkiego (3-30cm) i dalekiego zasięgu (10-120cm). Na robocie rozmiesz-

czono osiemnaście czujników: pięć dalekiego zasięgu i trzynaście krótkiego. Na rys. 2 pokazano ich rozmieszczenie w zderzakach robota. W przedniej części robota umieszczono 11 dalmierzy, na każdej burcie pojazdu po dwa oraz w tylnej części trzy. Dla uniknięcia wzajemnego zakłócania czujniki dalekiego i krótkiego zasięgu są umieszczone naprzemiennie. Dalmierze są obsługiwane przez jednoukładowe mikrokomputery podłączone do komputera nadrzędnego przez magistralę RS-485.



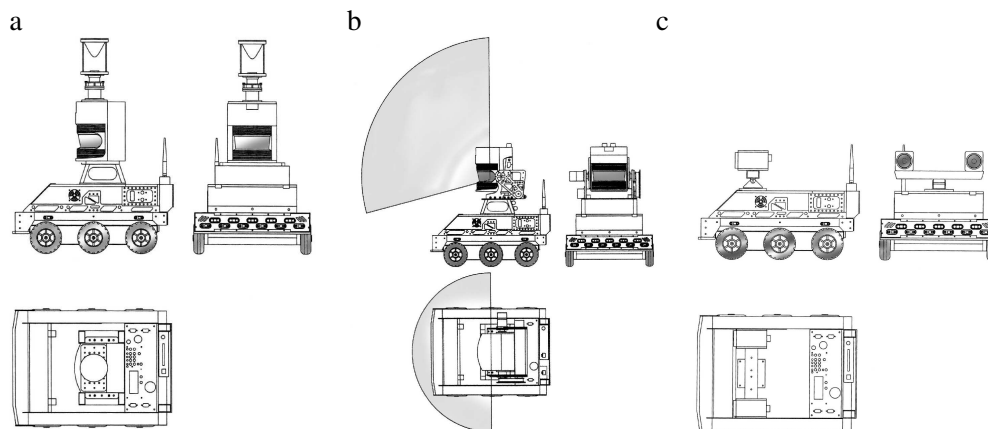
Rys. 2. Rozmieszczenie dalmierzy podczerwonych na korpusie robota

4. DODATKOWE MODUŁY CZUJNIKÓW

Robot jest przystosowany do współpracy z dodatkowym wyposażeniem. Otwarta struktura układu sterowania oraz specjalnie zaprojektowana konstrukcja mechaniczna pozwalają na łatwy montaż dodatkowych modułów. W opisywanej konstrukcji robota, główny nacisk położono na opracowanie dodatkowego wyposażenia w postaci modułów czujników. Dotychczas zbudowano i przetestowano trzy wersje takich modułów. Pierwszy składa się ze skanera laserowego SICK LMS 200 oraz układu wizji dookólnej (rys. 3a). Skaner został sztywno przykręcony do specjalnego wspornika zamocowanego do korpusu robota. Umożliwia pomiar odległości w zakresie kątowym 180° . Do górnej części skanera przymocowano układ wizji dookólnej. Składa się on z kamery umieszczonej pionowo oraz zwierciadła parabolicznego umieszczonego nad nią w osi optycznej. Zaletą czujnika wizji dookólnej jest możliwość obserwacji otoczenia w zakresie 360° przez jedną kamerę. Oś optyczna skanera oraz oś kamery pokrywają się.

Drugim modułem przygotowanym dla robotów typu ELEKTRON jest głowica do skanowania trójwymiarowego. Moduł składa się ze skanera laserowego SICK LMS 200 umieszczonego na obrotowej głowicy. Głowica może obracać skaner wokół osi poprzecznej w zakresie kątowym od -15° do $+90^\circ$. Do napędu głowicy wykorzystano silnik elektryczny prądu stałego z przekładnią planetarną. Napęd przekazywany jest za pośrednictwem przekładni z paskiem zębatym, dzięki czemu silnik napędowy został zainstalowany w podstawie. Do pomiaru kąta obrotu zostały zastosowane dwa przetworniki obrotowo-impulsowe. Pierwszy z nich, zainstalowany na wale silnika, jest wykorzystywany w układzie regulacji położenia. Drugi dokonuje pomiaru kąta obrotu bezpośrednio na osi obrotu skanera. Dzięki takiej konfiguracji możliwy jest precyzyjny pomiar położenia kąowego głowicy, na który nie mają wpływu luzy występujące w przekładni. Głowicę pokazano na rys. 3b.

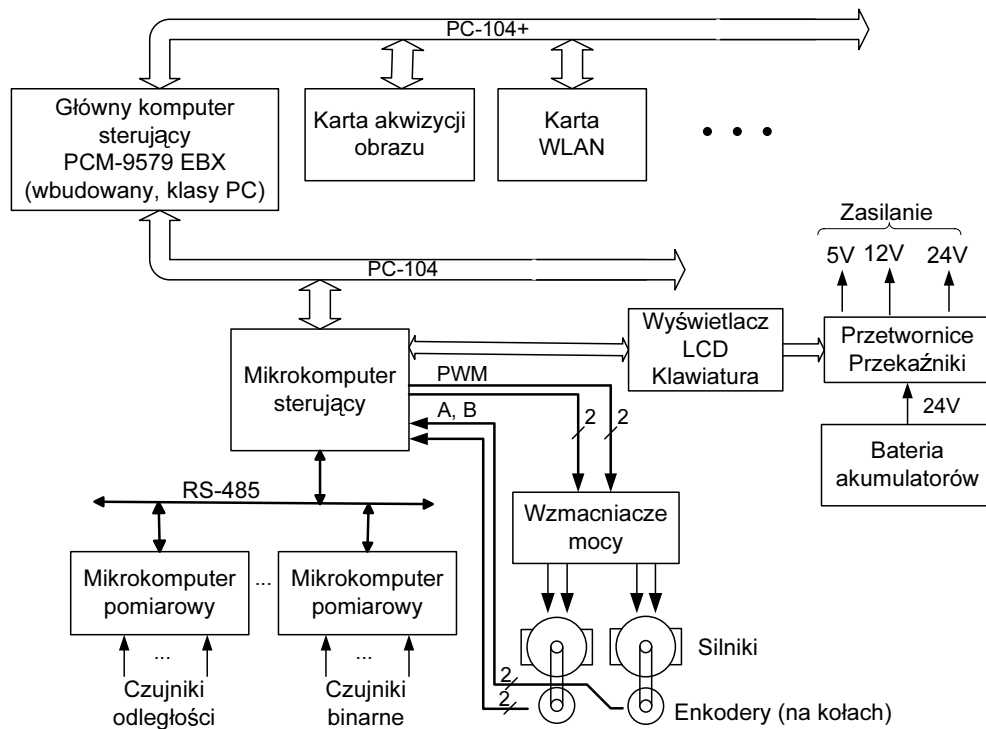
Trzecim modułem jest system stereowizyjny (rys. 3c). Składa się on z dwóch kamer CCD o wysokiej rozdzielczości, które są dodatkowo wyposażone w *motozoom*. Kamery zostały zainstalowane w przedniej części robota, na specjalnie przygotowanej belce. Dzięki zastosowaniu obrotowej podstawy kamery mogą obracać się w zakresie kątowym od 0° do 180°.



Rys. 3. Moduły czujników

5. STRUKTURA UKŁADU STEROWANIA

Schemat blokowy układu sterowania jest pokazany na rys.4. Podstawowym elementem układu jest główny komputer pokładowy, który zarządza pracą całego systemu i realizuje wszystkie funkcje sterowania wysokiego poziomu. Wykorzystano tu jednopłytkowy komputer PCM-9579 EBX firmy Advantech [8]. Jest to komputer z procesorem Celeron lub Pentium (z zegarem o częstotliwości odpowiednio 650MHz i 900MHz), przeznaczony do zastosowań wbudowanych (*embedded*), wyposażony we wszystkie typowe elementy komputera klasy PC (grafika, dźwięk, Ethernet, sterowniki napędów dyskowych, porty równoległe i szeregowo RS-232, magistrala PCI), a także w elementy dodatkowe, typowe dla komputerów wbudowanych (magistrale PC-104 i PC-104+, magistralę RS-485, złącze pamięci compact flash pracującej w trybie IDE). Magistrale PC-104 i PC-104+ (standard dla komputerów wbudowanych) umożliwiają łatwą rozbudowę i modyfikację układu sterowania, przez dokładanie kart rozszerzeń. Układy te cechują się stosunkowo niewielkimi rozmiarami, małym poborem mocy oraz dużą dostępnością gotowych modułów peryferyjnych. W konfiguracji bazowej robota, do magistrali PC-104+ jest przyłączona bezprzewodowa karta sieciowa zgodna z standardem Ethernet 802.11g wykorzystywana do szybkiej (52Mb/s) komunikacji robota z otoczeniem. W układzie sterowania robota wyposażonego w kamerę wysokiej jakości, do magistrali PC-104+ jest przyłączona karta akwizycji obrazu. W układach innych egzemplarzy robotów, do magistrali tej, a także do magistrali PC-104



Rys. 4. Struktura sprzętowa sterownika robota Elektron

mogą być przyłączone inne, dodatkowe pakiety rozszerzające, zgodnie z potrzebami funkcjonalności układu, zarówno fabryczne, jak i prototypowe – wykonane we własnym zakresie. Planuje się np. wykonanie specjalizowanej karty szybkiego interfejsu RS-422 do komunikacji z dalmierzem laserowym.

Bezpośrednie sterowanie wszystkich elementów wykonawczych robota (silniki, czujniki, itp.), a także wykrywanie i obsługa sytuacji awaryjnych są realizowane przez specjalizowany mikrokomputer sterujący. Jest on zbudowany na bazie mikrokomputera jednoukładowego firmy Atmel T89C51AC2 – 8-bitowego układu rodziny MCS-51. Mikrokomputer ten jest wykonany w statycznej technologii CMOS, dzięki czemu charakteryzuje się niskim zużyciem energii, może pracować z rezonatorem kwarcowym o częstotliwości do 40MHz. Komunikacja mikrokomputera z głównym komputerem sterującym odbywa się za pomocą bloku sprzęgającego, przyłączonego z jednej strony do magistrali PC-104 komputera, a z drugiej strony do magistrali mikrokomputera. Jedną z funkcji mikrokomputera sterującego jest sterowanie silnikami napędowymi robota (regulacja prędkości lub położenia). Do tego celu wykorzystano scalone regulatory PID – układy LM629 firmy National Semiconductor. Są to specjalizowane układy przeznaczone do sterowania silnikami, które – wykonując cyfrowy algorytm regulacji PID – mogą realizować kilka typowych zadań sterowania: regulacja prędkości, realizacja zadanej trajektorii oraz regulacja położenia. Układ mierzy pozycję i prędkość wykorzystując bezpośrednio sygnał z enkodera i wytwarza stero-

wanie w postaci sygnału PWM. Sygnały PWM, po przejściu przez wzmacniacz mocy, sterują silnikami elektrycznymi prądu stałego. Zadanie regulacji (pozycja zadana, prędkość zadana, przyspieszenie) oraz parametry regulatora (wzmocnienia wszystkich członów, częstotliwość próbkowania, ograniczenie wartości członu całkowitego) są przekazywane programowo. Jest przy tym możliwy programowy dostęp do regulatorów zarówno przez mikrokomputer, jak i przez główny komputer sterujący. W celu zapewnienia elastyczności konfiguracji, prostoty rozbudowy oraz zmniejszenia liczby przewodów dochodzących do mikrokomputera sterującego, przyjęto że wszystkie czujniki będą bezpośrednio obsługiwane przez specjalizowane mikrokomputery pomiarowe, pracujące w sieci lokalnej. Do budowy sieci mikrokomputerów pomiarowych przyjęto standard RS-485.

Za zasilanie całości układu sterowania odpowiada blok przetwornic i przełączników, sterowany ręcznie przez użytkownika za pomocą klawiatury. W bloku tym, zasilanym napięciem 24V z akumulatora albo z zasilacza zewnętrznego, jest wytwarzane napięcie 5V (do zasilania m.in. komputerów i logiki sterownika), oraz napięcia 12V i 24V (do zasilania silników i różnych elementów dodatkowych, np. kamery). Każde z napięć zasilających może być indywidualnie włączane i wyłączane przez użytkownika.

6. OPROGRAMOWANIE

Oprogramowanie robota ma strukturę warstwową, gdzie podstawowe funkcje, takie jak akwizycja danych z układu odometrii czy dalmierzy na podczerwień, są realizowane przez układy zbudowane na bazie mikrokomputerów jednokładowych – połączonych z głównym komputerem pokładowym robota, który wykonuje programy sterujące robotem i analizujące dane pomiarowe.

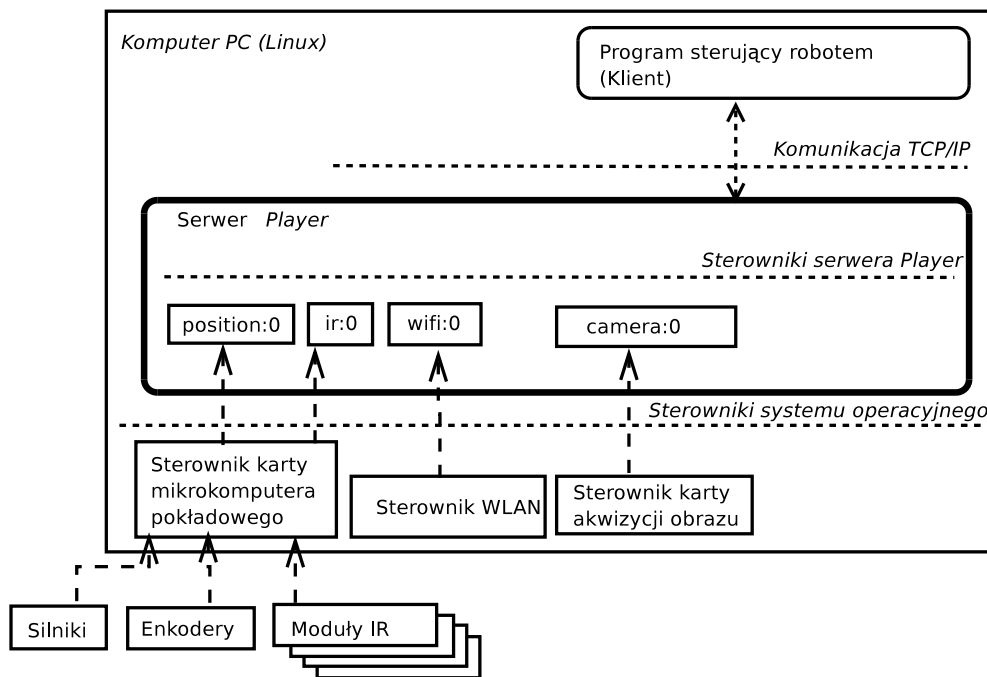
Moduły akwizycji danych analogowych, do których są podłączone czujniki odległości, są odpytywane o wartości sygnałów wejściowych przez mikrokomputer nadrzędny w cyklu 40ms. W przypadku zaniechania odpytywania następuje automatyczne odłączenie zasilania od czujników. W ten sposób unika się zbędnego poboru energii np. w czasie jazdy na wprost, kiedy nie jest potrzebna informacja z czujników umieszczonych na tylnym zderzaku. Komunikacja z modułami akwizycji danych odbywa się przez magistralę RS-485, gdzie moduły pełnią rolę urządzeń typu *slave* zaś transmisja danych jest zawsze inicjowana przez układ nadrzędny (*master*).

Głównym zadaniem mikrokomputera sterującego jest obsługa scalonych regulatorów PID. Pośredniczy on w przekazywaniu sterowań i odczytywaniu aktualnej pozycji pomiędzy komputerem PC a układami LM629. Mikrokomputer sterujący generuje ponadto dwa sygnały PWM sterujące serwomechanizmami modelarskimi, które mogą służyć np. do obracania kamer bądź do sterowania prostego manipulatora.

Główny komputer pokładowy jest wyposażony w 256MB pamięci RAM oraz kartę compact flash o pojemności 512MB pracującą w trybie IDE. Pracuje on pod kontrolą systemu operacyjnego Linux w dystrybucji *Gentoo*. Wybór samego systemu spowodowany jest bogactwem oprogramowania (w tym gotowych sterowników urządzeń) dostępnego dla tej platformy. Dystrybucja została wybrana z powodu dobre rozwiniętego systemu konfiguracji i dostosowywania pakietów do specyfiki sys-

temu wbudowanego. Całość oprogramowania skompilowana z opcjami optymalizacji dla procesora Pentium zajmuje obszar o pojemności ok. 100MB na karcie pamięci. Do systemu zostały dołączone także biblioteki *IPP* (*Intel Integrated Performance Primitives*) [10] oraz *MKL* (*Intel Math Kernel Library*) [11], które umożliwiają znaczące przyspieszenie operacji przetwarzania obrazu.

Do sterowania robotem została wykorzystane środowisko *Player/Stage* [12]. Ogólny schemat struktury oprogramowania z wykorzystaniem *Playera* przedstawia rys. 5. Jest to struktura trójwarstwowa. W warstwie górnej są umieszczone programy klientów realizujące zadania użytkownika. Warstwę środkową stanowi proces wielowątkowego serwera *Player*, w którego skład wchodzi interfejsy i sterowniki. Natomiast warstwę dolną stanowią sterowniki programowe konkretnych urządzeń. Każdy



Rys. 5. Ogólna struktura oprogramowania robota Elektron

klient jest połączony z serwerem *Playera* przez gniazda TCP. Jeśli klient jest uruchomiony na tej samym komputerze co *Player*, wówczas połączenie jest przez realizowane interfejs lokalny (*loopback*). W przeciwnym przypadku jest to fizyczne połączenie przez sieć (może to być sieć bezprzewodowa). Z drugiej strony *Player* łączy się z urządzeniami, przez swoje sterowniki, zazwyczaj wykorzystując łącze RS-232, choć w przypadku niektórych sterowników (jak *festival*) połączenie to jest nawiązywane także przez sieć TCP. W przypadku sterownika robota mobilnego Elektron połączenie to jest nawiązywane z modułem jądra *Linuxa*, który dalej obsługuje to żądanie.

Wewnątrz procesu *Player* różne wątki komunikują się wykorzystując wspólną przestrzeń adresową procesu. Każde urządzenie jest powiązane z buforem komend i buforem danych. Dostęp do tych buforów jest zrealizowany z wykorzystaniem me-

chanizmu wzajemnego wykluczania. W ten sposób jest zapewniony asynchroniczny kanał komunikacyjny pomiędzy wątkami sterowników urządzeń a wątkami serwera odpowiedzialnymi za odbieranie oraz udostępnianie danych programom klientów.

Integracja robota z tym oprogramowaniem wymagała stworzenia sterowników (*drivers*) implementujących interfejsy już wcześniej zdefiniowane w systemie – zapewniające komunikację z układem napędu (sterowanie prędkościowe i pozycyjne) i czujnikami odległości, sterowanie serwomechanizmami modelarskimi oraz monitorowanie stanu naładowania akumulatorów w trakcie pracy robota. Programowy sterownik napędów robota mobilnego Elektron ma postać tzw. „wtyczki” do serwera *Player*. Udostępnia on interfejs *position*. Komunikacja sterownika ze specjalizowaną kartą PC-104 zawierającą mikrokomputer sterujący odbywa się przez porty we-wy oraz przerwania – ich obsługę realizuje specjalnie napisany moduł jądra systemu *Linux*. Sterownik ten pozwala na:

- ustawienie prędkościowego trybu sterowania robotem,
- ustawienie pozycyjnego trybu sterowania robotem,
- ustawienie maksymalnego przyspieszenia w obu trybach,
- ustawienie maksymalnej prędkości w trybie sterowania pozycyjnego,
- odczyt danych odometrycznych,
- wyzerowanie liczników odczytów odometrycznych ,
- odczytanie geometrii robota – pozycji oraz rozmiarów jego bazy jezdnej,
- ustawienie parametrów scalonego regulatora PID LM629,
- wyłączenie wzmacniaczy mocy dla silników.

Zostały także uruchomione istniejące w środowisku *Player* sterowniki dalmierza laserowego, przechwytywania obrazu z kamer wizyjnych, obsługa wejścia i wyjścia audio.

Do chwili obecnej nie wystąpiła konieczność używania rozszerzeń czasu rzeczywistego dla systemu *Linux* (np. RT-*Linux* lub RTAI), jednak przyjęte założenie o tworzeniu oprogramowania od podstaw (jako elementu prowadzonych prac) pozwala w łatwy sposób na taką modyfikację w przyszłości.

7. PODSUMOWANIE

W artykule omówiono budowę robota Elektron skonstruowanego z myślą wykorzystania go w pracach badawczych nad nawigacją autonomiczną robotów mobilnych. Modułowa konstrukcja pozwala na szybkie zmiany wyposażenia robota, w szczególności zestawów czujników. Dzięki wykorzystaniu typowych komputerów PC przeznaczonych do zastosowań wbudowanych z magistralami standardu PC-104 i PC-104+, poza dużą mocą obliczeniową uzyskano możliwość łatwej rozbudowy układu sterowania przez dodanie nowych kart rozszerzeń. W chwili obecnej roboty są wyposażone w karty WLAN zgodne ze standardem 802.11g do szybkiej (52Mb/s) komunikacji bezprzewodowej. Dla robotów Elektron opracowano także moduły złożonych czujników, m.in. czujnika złożonego z skanera laserowego i kamery dookólnej o wysokiej rozdzielczości, głowicy skanującej 3D, czy też układu stereowizyjnego.

LITERATURA

- [1] R. Chojecki, M. Olszewski, P. Marcinkiewicz. Miniaturowe roboty mobilne w instytucie automatyki i robotyki politechniki warszawskiej. In: *Przemysłowe i medyczne systemy robotyczne* Red. K. Tchoń, s. 311–319. WKŁ 2005.
- [2] B.P. Gerkey, R.T. Vaughan, A. Howard. The player/stage project: Tools for multi-robot and distributed sensor systems. In: Int. Conf. on Advanced Robotics (ICAR2003). *Proceedings*, 2003, s. 317–323.
- [3] M. Kabała, K. Tchoń, M. Wnuk. Robot mobilny napędzany w układzie wewnętrznym. In: Krajowa Konferencja Robotyki, VII KKR, Prace Naukowe ICT PWr. *Proceedings* Red. K. Tchoń, Łądek Zdrój, 2001. wolumen 1, s. 149–158.
- [4] W. Klimasara. Koncepcja, projekt oraz konstrukcja mechaniczna mobilnego robota interwencyjno-inspekcyjnego sr-10 inspector. In: Krajowa Konferencja Robotyki, VII KKR, Prace Naukowe ICT PWr. *Proceedings* Red. K. Tchoń, Łądek Zdrój, 2001. wolumen 1, s. 139–148.
- [5] M. Montemerlo, N. Roy, S. Thrun. Perspectives on standardization in mobile robot programming: The carnegie mellon navigation (carmen) toolkit. In: IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems. *Proceedings*, 2003. Vol. 3, s. 2436–2441.
- [6] A. Orebäck, H.I. Christensen. Evaluation of architectures for mobile robotics. *Autonomous Robots*, 2003, Vol. 14, No. 1, s. 33–49.
- [7] R.T. Vaughan, B.P. Gerkey, A. Howard. On device abstractions for portable, reusable robot code. In: IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems. *Proceedings*, 2003. Vol. 3, s. 2421–2427.
- [8] Advantech. *5.25" Single Board Computer PCM-9579*, <http://www.advantech.com/products/>
- [9] CARMEN. *CARMEN: Carnegie Mellon Robot Navigation Toolkit*, <http://carmen.sourceforge.net/>
- [10] Intel. *Intel® Integrated Performance Primitives (IPP)*, <http://www.intel.com/cd/software/products/asmo-na/eng/perflib/ipp/index.htm>
- [11] Intel. *Intel® Math Kernel Library (MKL)*, <http://www.intel.com:80/cd/software/products/asmo-na/eng/perflib/mkl/index.htm>
- [12] Player/Stage 2006. *The Player/Stage Project*, <http://playerstage.sourceforge.net/>

A MODULAR MOBILE ROBOT ELEKTRON

The paper presents a new mobile robot Elektron. Elektron is a modular mobile platform offering various options like a laser scanner with omnidirectional vision system, 3D scanning head, stereovision system. The robot has six-wheel base with all wheels motorized. It is equipped with on-board embedded computer based on Intel Pentium processor.