

mgr inż. Paweł Piątek, mgr inż. Marcin Zieliński, dr hab. inż. Piotr Skrzypczyński  
Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Inżynierii Informatycznej

## MODUŁOWY ROBOT MOBILNY DO CELÓW DYDAKTYCZNYCH I BADAWCZYCH

*W pracy przedstawiono koncepcję, konstrukcję i oprogramowanie modułowego robota mobilnego, przeznaczonego do celów dydaktycznych i badawczych. Zaprezentowano koncepcję, niewielkiego kołowego robota mobilnego LapBot, którego głównym założeniem konstrukcyjnym było maksymalne wykorzystanie zasobów komputera klasy notebook do zadań przetwarzania danych sensorycznych i sterowania. Opisano konstrukcję mechaniczną robota oraz strukturę i oprogramowanie jego sterownika warstwy motorycznej. Przedstawiono także przykładowe moduły rozszerzeń: podsystem dalmierzy optycznych działających w zakresie podczerwieni oraz moduł żyroskopu wspomagającego odometrię. Opisano także przykładowe oprogramowanie sterujące dla komputera nadrzędnego, pozwalające na demonstrację możliwości robota.*

### A MODULAR MOBILE ROBOT FOR EDUCATION AND RESEARCH

*In this paper we present a modular mobile robot intended to be used in education and research. The robot is named LapBot, and the main idea behind it's concept is to use as much as possible the resources of a notebook computer, which is nowadays ubiquitous equipment among students and researchers. The notebook plays the role of a high-level controller, responsible for processing data from the external sensors, guidance of the robot, and the user interface. The paper describes the mechanical design of the robot's platform, and the structure and functions of the low-level motion controller. Two examples of the extension modules are also presented: a subsystem with infra-red range sensors, and a rate gyro module, which supports the odometry. Also the application software of the robot is presented, which allows for a demonstration of it's features.*

## 1. WSTĘP

Od kilkunastu już lat zaobserwować można wzrastającą popularność robotyki jako narzędzia i środka edukacji technicznej [7], zarówno na poziomie uniwersyteckim, jak i też wśród różnego rodzaju hobbystów i osób zainteresowanych szeroko pojętymi technikami i informacyjnymi. Wśród przyczyn tego zjawiska należy dostrzec także zwiększoną dostępność różnego rodzaju robotów edukacyjnych oraz zestawów i komponentów umożliwiających budowę własnych robotów. Szczególnie popularne w zastosowaniach edukacyjnych są kołowe lub gąsienicowe roboty mobilne, co wiąże się z ich niewielką liczbą stopni swobody i najczęściej prostszą, w porównaniu z robotami manipulacyjnymi, konstrukcją mechaniczną. Jednak większość z robotów mobilnych dostępnych jako zestawy do samodzielnego montażu lub gotowe produkty edukacyjne charakteryzuje się uproszczoną konstrukcją mechaniczną, gdyż to właśnie koszt wytworzenia "mechaniki" stanowi największą część kosztów całego robota.

Odbija się to szczególnie na jakości odometrii zliczeniowej – jej realizacja wymaga precyzyjnego wykonania układu jezdnego, a wszelkie niedokładności wykonania lub montażu odbijają się negatywnie na jakości otrzymywanej estymaty pozycji robota [13]. Powoduje to, że proste mobilne roboty edukacyjne nie spełniają istotnych wymogów stawianych przed nimi

przez użytkowników akademickich, którzy chcą używać robotów nie tylko przyciągających uwagę zabawek, lecz także do realizacji konkretnych zadań o charakterze edukacyjno-badawczym. Do realizacji zadań takich jak jednoczesna samolokalizacja i budowa mapy otoczenia, autonomiczne sterowanie odruchowe, zastosowania systemów wizyjnych, badanie zachowań grupowych potrzebne są roboty mobilne posiadające niezawodny podsystem odometrii, możliwość dowolnego kształtowania trajektorii ruchu oraz udźwig wystarczający do umieszczenia na pokładzie takich sensorów jak np. skaner laserowy. Dodatkowym, lecz bardzo istotnym z praktycznego punktu widzenia wymogiem, jest otwartość architektury sterowania, umożliwiająca sterowanie robotem za pomocą programów napisanych w różnych językach (Pascal, C/C++, Java) oraz działających na różnych platformach systemowych (Unix/Linux, Windows). Niestety, powyższe wymagania nie są spełniane przez dostępne na rynku edukacyjne roboty mobilne lub zestawy do budowy robotów. Spełniają je roboty oferowane jako specjalizowany sprzęt badawczy, które są jednak kilkakrotnie droższe.

Sytuacja ta skłoniła Instytut Automatyki i Inżynierii Informatycznej (IAiII) Politechniki Poznańskiej do prac nad własnym kołowym robotem mobilnym do celów edukacyjnych i badawczych. Prototypowy robot został wytworzony we współpracy z poznańską firmą P.P.H. WObit, działającą głównie w branży napędów elektrycznych i sterowników, lecz mającą też w swej ofercie zestawy edukacyjnych robotów mobilnych [15] oraz komponenty do budowy robotów. Współpraca z firmą WObit, posiadającą odpowiednie zaplecze warsztatowe i do świadczenie w produkcji zestawów edukacyjnych, pozwoliło na wytworzenie robota, który nie tylko charakteryzuje się profesjonalnym wykonaniem komponentów, lecz także posiada pewien potencjał komercyjny. Projekt realizowany był w myśl zasad *open source*, w efekcie czego zarówno IAiII jak i WObit mają prawo do niezależnego rozwoju powstałej konstrukcji.

## 2. KONCEPCJA ROBOTA LAPBOT

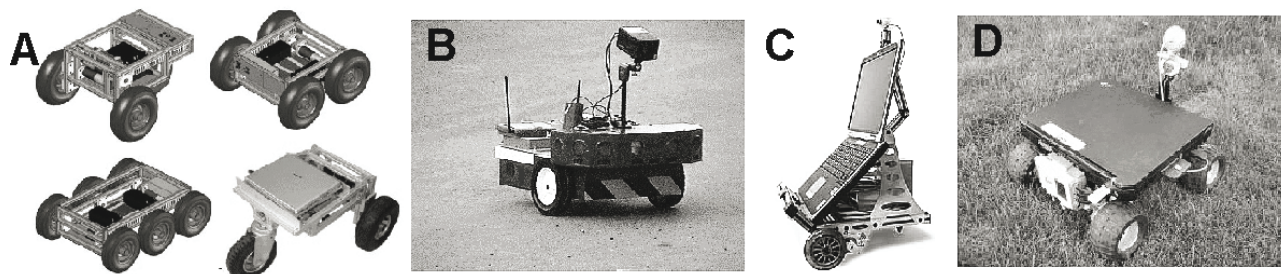
Analizując potrzeby IAiII oraz innych środowisk akademickich w zakresie robotów mobilnych, stwierdzono, że robot edukacyjno-badawczy powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- niewielkie wymiary i masa pozwalające na swobodne przenoszenie robota,
- możliwość montażu na pokładzie robota sensorów zewnętrznych,
- dobra jakość estymaty pozycji uzyskiwana z podsystemu odometrii,
- możliwość sterowania nadrzędnego z komputera klasy PC umieszczonego na pokładzie,
- sterowanie robotem oparte na transmisji szeregowej i jawnym protokole (liście rozkazów),
- otwartość systemu sterowania oraz możliwość rozbudowy i modyfikacji (modułowością).
- akceptowalny koszt wytworzenia, umożliwiający budowę większej liczby egzemplarzy.

Jak widać z powyższej listy wymagań, robot powinien być niewielki i możliwie tani, a jednocześnie mieć możliwość zabrania na pokład komputera PC oraz dodatkowych sensorów (kamera, skaner laserowy).

Zapoznając się z istniejącymi profesjonalnymi i amatorskimi konstrukcjami robotów mobilnych znaleźć można kilka, spełniających niektóre z postawionych powyższych wymagań. Bardzo interesującym rozwinięciem jest robot VolksBot z Instytutu Fraunhofera [16], pomyślany jako uniwersalna i dostępna platforma badawcza do samodzielnego montażu. Robot ten charakteryzuje się wyjątkowo dużą modułowością, pozwalającą na konfigurowanie pojazdów o różnych układach jezdnych, np. różnicowym dwukołowym (ang. *differential drive*), różnicowym czterokołowym lub sześciokołowym (ang. *skid steering*), a albo trójkołowym z kołem skrętnym (rys. 1A). Realizacja tej interesującej koncepcji wiąże się jednak ze sporymi kosztami modułów mechanicznych. Innym ciekawym rozwinięciem jest

robot ER-1, sprzedawany w zestawach do samodzielnego montażu (rys. 1C). Jest to przykład podejścia minimalistycznego, gdzie większość funkcji sterujących wykonuje dostarczany przez użytkownika komputer klasy notebook [4]. Wśród robotów mobilnych będących konstrukcjami jednostkowymi, powstałych na uczelniach lub w warunkach amatorskich warto odnotować robota QuakyAnt [3] (rys. 1B), będącego udaną próbą samodzielną budowy robota o cechach i funkcjonalności zbliżonych do popularnych robotów komercyjnej rodziny Pioneer [9], oraz robota zbudowanego z zestawów Lego Mindstorms NXT (rys. 1D), lecz wyposażonego w komputer pokładowy klasy notebook [1]. Konstrukcje te stały się inspiracją i swoistymi punktami odniesienia dla powstającego w IAIiI robota mobilnego.



Rys. 1. VolksBot (A) [16], QuakyAnt (B) [3], Evolution Robotics ER-1 (C) [4], robot z zestawów Lego NXT (D) [1]

Po analizie potrzeb, możliwości technologicznych i kosztów podjęto decyzje ustalające konfigurację budowanego robota.

- Układ jezdny typu różnicowego z kołem podporowym. Jest to najprostszy z punktu widzenia konstrukcji mechanicznej układ jezdny, nie wymaga zawieszania i zapewnia dobre warunki pracy podsystemu odometrii [5].
- Modułowa budowa układów elektronicznych robota. Robot powinien opierać się na sterowniku warstwy motorycznej, który realizować będzie podstawowe funkcje (sterowanie napędami, odometria, komunikacja z komputerem nadrzędnym), który będzie zawsze stosowany, natomiast pozostałe komponenty, takie jak dodatkowe sensory montowane będą w miarę potrzeb.
- Komputerem nadrzędnym będzie PC klasy notebook/netbook, umieszczony na platformie robota i zasilany z własnych baterii. Jest to rozwiązanie znacznie tańsze niż użycie specjalnego komputera wbudowanego, a moc obliczeniowa współczesnych notebooków zapewni robotowi możliwość realizacji na pokładzie praktycznie dowolnych algorytmów nawigacyjnych. Wadza jest też łatwość wymiany całego notebooka – ta sama platforma robota może być użyta np. przez różnych studentów do realizacji ich prac projektowych.

Ze względu na koncepcję użycia notebooka (laptopa) jako głównego zasobu obliczeniowego, robot otrzymał nazwę LapBot. Jest on robotem napędzanym przez dwa silniki elektryczne z enkoderami i przekładniami planetarnymi, na których bepośrednio osadzone są koła. Układ lokomocyjny typu *differential drive* pracuje z jednym kołem swobodnym, zamocowanym w tylnej części obudowy. Platforma wyposażona jest w żyroskop, dwa panele czujników w podczerwieni wrażliwych na obecność przeszkód z przodu i z tyłu robota oraz moduł pomiaru odległości umieszczony z przodu. Komponenty zarządzane są przez sterownik znajdujący się w obudowie i zasilane przez układ dwóch akumulatorów o napięciu 12 V. Nadrzędną jednostką sterującą jest komputer typu notebook umieszczony na platformie, wyposażony w interfejs użytkownika komunikujący się ze sterownikiem przy pomocy łącza szeregowego RS-232 lub USB.

Oprogramowanie warstwy motorycznej zapewnia dostęp do wszystkich urządzeń

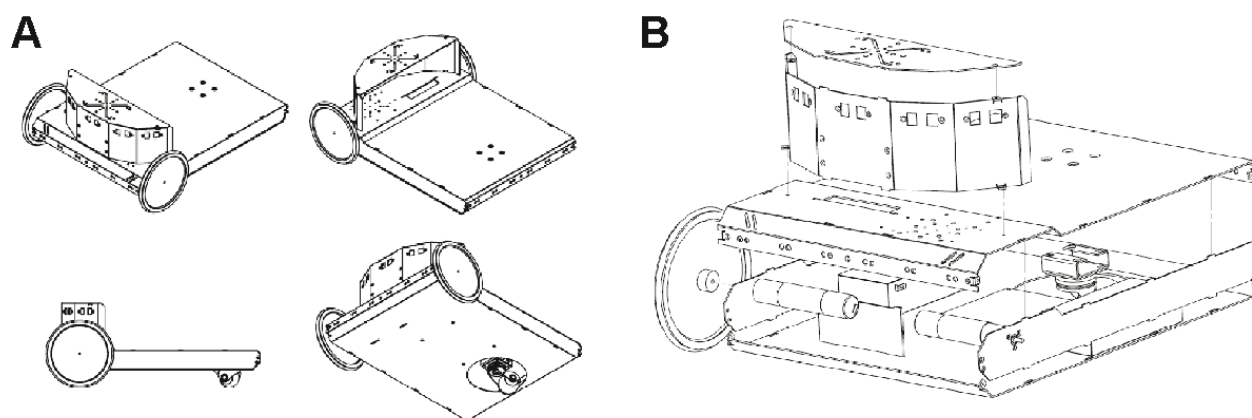
wykonawczych i pomiarowych zainstalowanych na platformie. Zaimplementowane funkcje umożliwiają zarządzanie robotem poprzez wydawanie poleceń z zewnętrznego komputera PC. Oprogramowanie robota powstało w myśl zasady *open source*: użytkownik ma możliwość rozbudowy lub zmiany algorytmów sterowania. Prosty interfejs typu GUI do instalacji na komputerze zewnętrznym (również *open source*) zapewnia możliwość testowania robota, odczytu wskazań z sensorów oraz wykorzystania elementów dodatkowych takich jak kamera internetowa.

Dzięki enkoderom zliczającym liczbę obrotów wału obu silników zrealizowana została odometrią wspomaganą przez dane pochodzące z żyroskopu. Na jej podstawie możliwe jest śledzenie zaplanowanej trajektorii. Czujniki zbliżeniowe oraz pomiaru odległości umożliwiają realizację procedury wymijania przeszkód, a także innych funkcji o charakterze adaptacyjnym, w przypadku poruszania się w nieznanym środowisku. Oprogramowanie z opcją obsługi kamery internetowej pozwala na implementację metod sterowania i nawigacji opartych na przetwarzaniu obrazu [12].

### 3. KONSTRUKCJA PLATFORMY JEZDNEJ LAPBOT

#### 3.1. Konstrukcja mechaniczna

LapBot jest robotem przeznaczonym do pracy w pomieszczeniach (ang. *indoor*). Układ nośny został zaprojektowany w taki sposób, aby umożliwić realizację odometrii, instalację wszystkich założonych sensorów oraz bezpiecznie umieścić komputer PC typu notebook na górnej płycie robota. Platforma została pomysłowana jako niedroga w wykonaniu oraz prosta w montażu (rys. 2A). Konstrukcja LapBota została zaprojektowana w programie SolidWorks.



Rys. 2. Projekt robota LapBot (A) i elementy jego obudowy (B)

Platformę wykonano z giętej blachy ze stali niestopowej ogólnego przeznaczenia St3S o grubości 1,5 mm. Pojedyncze elementy wycięto technologią obróbki laserowej. Po otrzymaniu wyciętego elementu, ostateczny kształt uzyskany został za pomocą prasy krawędziowej CNC. W celu konserwowania, wszystkie części pomalowano technologią lakierowania proszkowego. Na obudowę składa się sześć części, z których cztery tworzą główną konstrukcję nośną, a pozostałe dwie stanowią moduł dedykowany dla czujników pomiaru odległości (rys. 2B). Wymiary oraz kształt elementów składowych zostały dobrane w taki sposób, aby uprościć proces montażu obudowy. Wszystkie elementy posiadają otwory lub wypusty służące do szybkiego montażu bez konieczności użycia dużej liczby śrub.

Moduł czujników pomiaru odległości jest elementem niezależnym, stąd o jego wykorzystaniu decyduje użytkownik, który w jego miejsce może zainstalować inne urządzenie. Moduł ma przednią ścianę ukształtowaną w taki sposób, aby zapewnić pole widzenia sensorów odległości w zakresie od  $-50^\circ$  do  $+50^\circ$  względem osi podłużnej robota.

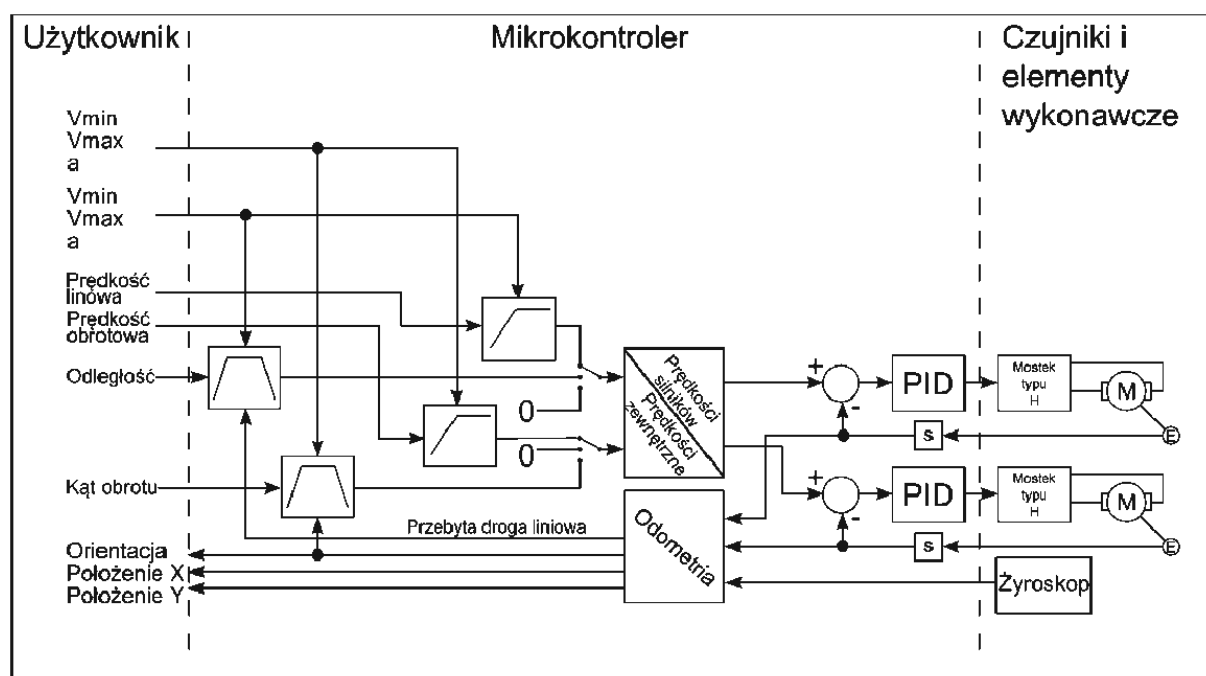


osadzonych na okręgach o różnej średnicy. Dzięki temu za pomocą śrub motylkowych można szybko zamontować kamerę internetową lub inny sensor.

Koła jezdno-napędowe zostały wytoczone z aluminiowego walca o średnicy 130 mm, na które nałożono gumowe obręcze zwiększające przyczepność do podłoża. Koło swobodne to element gotowy dobrany spośród asortymentu przeznaczonych do wózków przemysłowych. Napęd robota został zrealizowany za pomocą dwóch silników elektrycznych firmy Buhler Motor przytwierdzonych do bocznych ścian głównej konstrukcji nośnej. Koło podporowe jest schowane w obudowie i porusza się w wyciętym w dolnej płycie otworze. Jego wysokość jest regulowana poprzez dostosowanie wymiarów łącznika występującego pomiędzy mocowaniem koła, a górną pokrywą konstrukcji pojazdu. Zapewnia to użytkownikowi dowolność przy ostatecznym wyborze wymiaru kół napędowych, wpływa na charakterystykę ruchu robota.

### 3.2. Sterownik warstwy motorycznej

Sterownik warstwy motorycznej jest odpowiedzialny za sterowanie elementami wykonawczymi robota, zbieranie i przetwarzanie danych z sensorów oraz komunikację z komputerem nadrzędnym.



Rys. 3. Schemat blokowy układu sterowania robota LapBot

Sterownik oparty jest na 32-bitowym mikrokontrolerze z rodziny STM32 [14] wyposażonym w rdzeń ARM Cortex-M3. Mikrokontrolery te mogą być taktowane zegarem do 72 MHz, mają bardzo szeroką gamę układów peryferyjnych, w szczególności generatory PWM, interfejsy komunikacyjne oraz kanały DMA, a ich dodatkową zaletą jest sprzyjający interfejs do zliczania impulsów z enkoderów inkrementalnych, który odciąża rdzeń mikrokontrolera.

Część wykonawczą układu sterującego silnikami prądu stałego zbudowano w oparciu o scalone drivery MC33887 [6]. Enkodery podłączone są do dedykowanych wejść mikrokontrolera.

Sterownik realizuje też pomiar napięcia zasilania, co pozwala na określenie stopnia naładowania akumulatorów. Jest to przydatne, biorąc pod uwagę, że użytkownik nie ma łatwego dostępu do akumulatorów w celu dokonania pomiaru miernikiem.

## 4. MODUŁY ROZSZERZEŃ

Istotnym założeniem konstrukcyjnym robota LapBot była sprzętowa i programowa modułowość. Modułowość sprzętowa dotyczy układu sterowania robota. Dzięki niej do działania robot nie wymaga podłączenia wszystkich modułów (płytek), co pozwala użytkownikowi na dowolne konfigurowanie jego funkcjonalności w zależności od potrzeb. Przekłada się to również na możliwość redukcji kosztu nabycia robota w podstawowej konfiguracji oraz jego późniejszej rozbudowy.

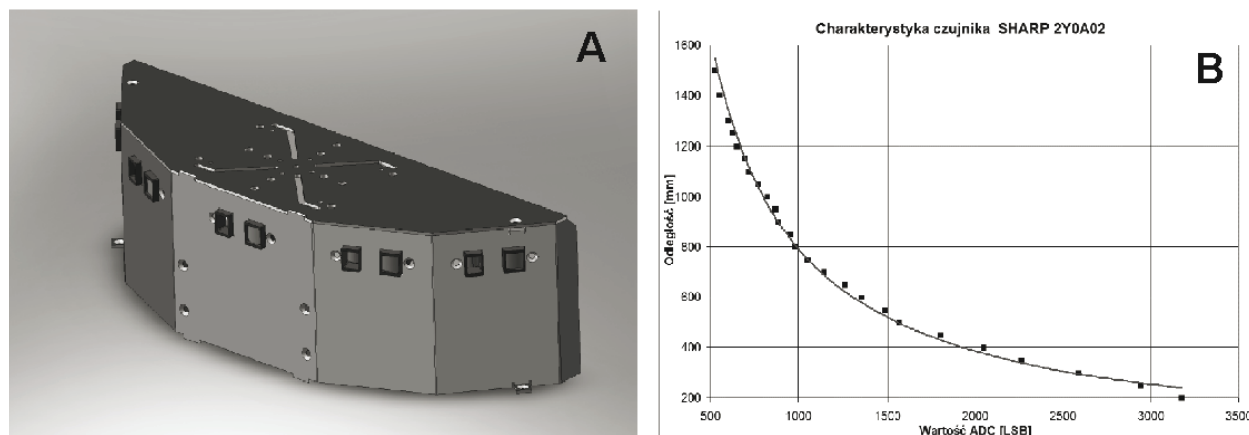
### 4.1. Czujniki zbliżeniowe

W robocie można zainstalować dwa moduły prostych, optycznych czujników zbliżeniowych, po jednym z przodu i tyłu. Ich zadaniem jest wykrywanie przeszkód znajdujących się blisko robota (do 10 cm), dzięki czemu robot może się zatrzymać przed kontaktem z przeszkodą. Moduły te zastępują mechaniczne zderzaki, których LapBot jest pozbawiony ze względu na chęć uproszczenia konstrukcji mechanicznej.

Moduł czujników zbliżeniowych składa się z dwóch zasadniczych części: nadajnika i odbiornika. Część nadawczą stanowi sześć diod LED emitujących światło podczerwone. Wszystkie są załączone w tym samym momencie przez sterownik warstwy motorycznej. Część odbiorczą stanowi sześć scalonych odbiorników podczerwieni. Zawierają one w swojej strukturze filtr pasmowo przepustowy oraz układ demodulatora, wykrywający obecność sygnału o zadanej częstotliwości. Dioda nadawcza wysyła impuls światła, jeżeli nie napotka on przeszkody, nie powraca do odbiornika. Natomiast jeżeli na drodze pojawi się przeszkoda, powoduje to odbicie światła podczerwonego w kierunku odbiornika. Dzięki zastosowaniu odbiorników czujących tylko na jedną częstotliwość, ograniczono wpływ zewnętrznych czynników (np. światła słonecznego). Wyjście z układu jest cyfrowe.

### 4.2. Moduł dalmierzy optycznych Sharp

Jest to moduł sensorów odległości "dalekiego zasięgu" dla robota LapBot. Jako czujniki odległości wybrano dalmierz typu GP2Y0A02YK0F [4] firmy Sharp, ze względu na łatwą dostępność, niski koszt oraz zasięg do 150 cm, który jest wystarczający aby zapewnić robotowi wielkości LapBota możliwość omijania przeszkód w pomieszczeniach (rys. 4A).



Rys. 4. Widok modułu dalmierzy Sharp (A) oraz charakterystyka czujnika (B)

Wyjścia napięciowe z dalmierzy połączone są bezpośrednio z wejściami przetwornika ADC w mikrokontrolerze. Mikrokontroler STM32 wyposażony jest w 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy umożliwiający pomiar do 16 niezależnych kanałów. Wyniki pomiarów zapisywane są w pamięci sterownika przy użyciu kanału DMA. Kolejne wyniki pomiarów są uśredniane. Liczbę próbek do wyliczenia średniej dobrano tak, aby przy liczbie kanałów

pomiaru różnicy 5 oraz danej konfiguracji przetwornika ADC czas odświeżania wyników wynosił ok. 50 ms, co jest wartością zbliżoną do czasu uaktualniania wyników pomiaru przez czujniki odległości. Uśrednione wyniki pomiarów są przeliczane na wartości wyrażone w milimetrach, które są gotowe do przesłania na żądanie do sterownika nadrzędnego. Aby przeliczać wyniki pomiarów napięcia z ADC na odległość, wyznaczono charakterystykę czujnika GP2Y0A02YK0F (rys. 4B).

Dodatkowo, ze względu na niewielkie wymiary układu pomiarowego, w opisywanym module umieszczono sterownik dwufazowego silnika krokowego o prądzie u zwojów do 0,75 A w celach przyszłej rozbudowy. Może on być wykorzystany do obracania zestawu czujników lub kamery.

### 4.3. Moduł żyroskopu

Ponieważ jedną z cech robota LápBot miała być precyzyjna odometrią, jego sterownik zaprojektowano z myślą o współpracy z modulem żyroskopu ADIS16100PCB firmy Analog Devices [2]. Jest to czujnik MEMS (ang. *Micro Electro-Mechanical System*), zawarty w całości w małym (ok. 8 × 8 mm) układzie scalonym, razem z układem filtrującym sygnał, przetwornikiem ADC oraz cyfrowym interfejsem w standardzie SPI. Interfejs ten wykorzystano do komunikacji modułu ze sterownikiem robota.

Żyroskop jest sensorem, który mierzy chwilową prędkość obrotową [5]. W związku z tym wyznaczanie nowej orientacji robota odbywa się na zasadzie sumowania (całkowania) kolejnych wskazań z czujnika w równych odstępach czasu. Odczyt wskazania żyroskopu wykonywany jest co 1 ms. Pobrane dane są sumowane przez program sterownika, a następnie odczytywane przez funkcję realizującą odometrię robota. Kalibracja żyroskopu następuje w czasie inicjalizacji robota. Funkcja kalibracji wyznacza wartość średnią ze wskazań żyroskopu, stanowiącą wskazanie zerowe. Ważne jest więc aby w czasie kalibracji żyroskopu robot pozostawał w spoczynku. Kalibracja wykonywana jest na podstawie 500 próbek, pobieranych co 1 ms, co daje łączny czas kalibracji 0,5 s.

## 5. OPROGRAMOWANIE POKŁADOWEGO KOMPUTERA PC

### 5.1. Komunikacja między sterownikiem robota a komputerem PC

Sterownik robota i nadrzędny komputer PC połączone są za pomocą łącza szeregowego. Transmisja odbywa się przez łącze zgodne ze standardem RS-232, USB lub za pomocą modułu radiowego MOBOT-RCRv2 firmy WObit [15]. Wzorem dla programowego rozwiązania komunikacji między sterownikiem warstwy motorycznej a komputerem PC był protokół zaimplementowany w sterowniku robota TRC Labmate, od dawna z powodzeniem używanego w IAIiI [17]. Jego koncepcja oparta jest na liście rozkazów i parametrów opisanych jako ciągi znaków ASCII, co umożliwia implementację sterowania robotem na dowolnej platformie programowo-sprzętowej.

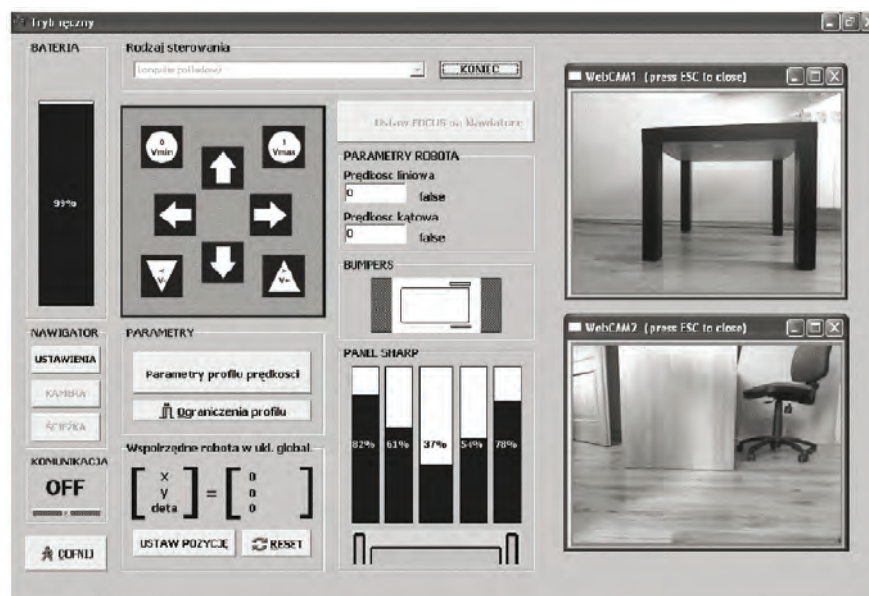
W sterowniku warstwy motorycznej zaimplementowano prosty interfejs poleceń, który umożliwia odebranie bajty w buforze, a po odebraniu wszystkich bajtów sprawdza zgodność sumy CRC i przekazuje skompletowaną w ten sposób ramkę rozkazu do funkcji rozpoznającej polecenia i parametry. Funkcja ta z kolei sprawdza kod polecenia i wywołuje odpowiednie funkcje sterowania robota lub odczytu danych. Realizowana jest też funkcja kontroli czasu transmisji (ang. *timeout*).

Zarówno łącze USB, jak i moduł radiowy obsługiwane są przez komputer nadrzędny jako wirtualny port COM. Komunikacja jest zawsze inicjalizowana przez komputer PC, a robot jedynie odpowiada na polecenia. Pierwszym krokiem w nawiązaniu komunikacji jest tzw. *handshake*. Odbywa się to poprzez wysłanie przez PC bajtu o wartości 'D' w kodzie

ASCII. Robot odpowie wartością 'D' lub 0x64H 'd' w kodzie ASCII, gdy wystąpi jakiś błąd (kod błędu można odczytać specjalnym poleceniem). Następnie PC wysyła znak powtórzenia. Jest to jeden bajt, który musi być inny niż poprzednim razem, a w przypadku pierwszego komunikatu różny od zera. Robot ignoruje polecenia, które mają taki sam bajt powtórzenia jak poprzedni komunikat. Kolejnym bajtem wysłanym przez PC jest kod rozkazu, jaki robot ma wykonać. Po kodzie rozkazu są przesyłane wszystkie dane, których ilość jest zależna od wysłanego rozkazu. Wysyłanie danych przez PC kończy się przesłaniem dwubajtowej sumy kontrolnej CRC. Wysyłanie polecenia przez komputer PC robot potwierdza odesłaniem znaku 'a' w kodzie ASCII, jeżeli wszystkie dane były poprawne lub 'n', jeżeli nie zgadza się suma CRC lub parametry rozkazu nie mieściły się w dozwolonym przedziale. Jeżeli robot odsyła jakieś dane, to są one wysyłane bezpośrednio za bajtem potwierdzenia.

## 5.2. Oprogramowanie aplikacyjne i demonstracyjne

W celu zaprezentowania możliwości robota LapBot, stworzony został graficzny interfejs użytkownika (rys. 5), umożliwiający testowanie funkcji robota i jego sensorów. Jednocześnie program ten służy za wzór dla programów przygotowywanych przez użytkowników LapBota.



Rys. 5. Okno programu demonstracyjnego robota LapBot wraz z przykładowymi widokami z kamer

Oprogramowanie komputera typu PC realizujące wszystkie funkcje sterowania wraz z obsługą kamery internetowej zostało napisane w języku zgodnym ze standardem C/C++. Program realizuje ręczny oraz częściowo autonomiczny tryb sterowania ruchem z elementami adaptacyjnymi, a także pozwala śledzić pomiary zainstalowanych na platformie sensorów.

Panel operatora pozwala na bezpośrednie sterowanie ruchem robota za pomocą strzałek klawiatury albo poprzez podawanie rozkazów (pojedynczych lub z listy). Umożliwia to uzyskanie ruchu prostoliniowego, po łuku i obrotu w miejscu. Dzięki trybowi ruchu *point-to-point* (wzorowanemu na trybie pracy dostępnym w robocie Labmate), użytkownik może zadać kolejne punkty ścieżki w układzie globalnym bez specyfikowania poszczególnych przesunięć i obrotów. Jednocześnie można śledzić położenie i orientację robota i modyfikować profil prędkości. Interfejs graficzny w przejrzysty sposób informuje o występujących błędach, wskazuje poziom zapasu energii i odległość od obiektów w otoczeniu. Alarmuje także, gdy robot znajdzie się w niebezpiecznej odległości od przeszkody, wywołując tym samym komendę zatrzymania. Dostępne jest także okno podglądu widoku z kamery podłączonej do pokładowego komputera PC (istnieje możliwość podłączenia 2 kamer).



## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiony w niniejszym artykule prototyp robota LapBot (rys. 6) został wykonany w ramach pracy dyplomowej magisterskiej realizowanej w Instytucie Automatyki i Inżynierii Informatycznej Politechniki Poznańskiej [10]. W jego konstrukcji i oprogramowaniu udało się zrealizować większość przyjętych założeń, w szczególności dotyczących otwartości i rozszerzalności konstrukcji oraz jej niewielkiego kosztu.



Rys. 6. Modułowy robot mobilny LapBot

Realizacja tego projektu możliwa byłaby dzięki współpracy z P.P.H. WObit. Wiele komponentów robota wybrano z oferty tego przedsiębiorstwa. Dalszy rozwój koncepcji LapBota w IAIiI dotyczy głównie jego oprogramowania. Prace obejmują między innymi wykorzystanie systemu Player/Stage, popularnego w wielu ośrodkach badawczych oprogramowania sterującego dla robotów mobilnych, dostępnego na zasadach *open source*.

## BIBLIOGRAFIA

- Alapetite A., *Mobile laptop computer robot*, <http://alexandre.alapetite.fr/divers/robot/mobile-laptop/index.en.html>.
- Analog Devices, *ADIS16100 Datasheet*, <http://www.analog.com>, 2009.
- Martinez Barberá H., *A Distributed Architecture for Intelligent Control in Autonomous Mobile Robots*, PhD Thesis, University of Murcia, 2001.
- Evolution Robotics, *ER-1 Personal Robot System*, <http://www.evolution.com>
- Feng L., Borenstein J., Everett H. R., "Where am I?" *Sensors and Methods for Autonomous Mobile Robot Positioning*, Tech. Rep., University of Michigan, 1996.
- Freescale Semiconductor, *MC33887 Datasheet*, <http://www.freescale.com>.
- Greenwald L., Kopeba J., Mobile Robot Labs, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 10(2), 2003, s. 25–32.
- Lego, *Lego Mindstorms NXT*, <http://mindstorms.lego.com>.
- Mobile Robots Inc., *Pioneer 3DX*, <http://www.activrobots.com/robots/pioneer.html>.
- Piątek P., Zieliński M., *Konstrukcja i oprogramowanie modułowego robota mobilnego*, praca dyplomowa magisterska, IAIiI, Politechnika Poznańska, Poznań, 2009.
- Sharp, *GP2Y0A02YK Datasheet*, <http://www.sharpsme.com>, 2006.
- Skrzypczyński P., An Approach to Low-cost Real-time Visual Perception in a Mobile Robot, *Proc. Automation 2004*, Warszawa, 2004, s. 403–412.
- Skrzypczyński P., *Metody analizy i redukcji niepewności percepcji w systemie nawigacji robota mobilnego*, Rozprawy, nr 407, Poznań, Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2007.
- STMicroelectronics, *STM32F103xB Datasheet*, <http://www.st.com>.
- WObit, *MOBOT, instrukcja obsługi*, <http://www.mobot.pl>.
- VolksBot, <http://www.volksbot.de>.