

Krzysztof JASKOT, Patryk PRĘŻYNA  
Politechnika Śląska

## **EKSPERYMENTALNA PLATFORMA MOBILNA ZE STEROWNIKIEM myRIO**

**Streszczenie.** Praca przedstawia konstrukcję prototypu platformy mobilnej. Na chwilę obecną operator ma możliwość zdalnego sterowania pracą robota - płynne poruszanie w płaszczyźnie poziomej (zmiana kierunku geograficznego, przemieszczanie się z punktu do punktu) unikanie kolizji z przeszkodami. Solidna konstrukcja gwarantuje odporność na uszkodzenia mechaniczne, a ergonomiczny panel operatora, zapewnia wygodną i intuicyjną obsługę wszystkich modułów.

## **EXPERIMENTAL MOBILE PLATFORM WITH THE myRIO CONTROLLER**

**Summary.** The paper presents design of mobile platform. To date, the operator has the ability to seamlessly move and maneuver both horizontal (geographic change in direction, moving from point to point) avoiding collisions with obstacles. Solid construction provides resistance to mechanical damage, and the ergonomically designed operator panel, offers a convenient and intuitive use of all modules.

### **1. Wstęp**

Roboty mobilne są od wielu lat szeroko wykorzystywane zarówno do celów wojskowych jak i cywilnych. Powstało wiele konstrukcji, które umożliwiają wykonywanie zadań niebezpiecznych lub niewygodnych dla człowieka [8, 9, 5]. Wciąż trwają jednak prace nad udoskonaleniem dotychczasowych projektów, aby jeszcze sprawniej wykonywać postawione przed nimi zadania oraz sprawić aby ich cena stała się przystępna dla szerszego grona odbiorców. Biorąc pod uwagę tempo rozwoju tej gałęzi przemysłu można zaryzykować stwierdzenie, iż jest ona potencjalnym rynkiem pracy absolwentów wydziału Automatyki Elektroniki i Informatyki. Fakt ten stał się jedną z motywacji do prac nad stworzeniem platformy mobilnej, która umożliwiłaby w krótkim czasie zapoznanie studentów z zasadami działania oraz metodami sterowania robotów mobilnych.

Na rynku istnieje już wiele edukacyjnych pojazdów kołowych lub gąsienicowych jednak ze względu na ich wysoką cenę lub delikatną konstrukcję nie są one w rzeczywistości przeznaczone dla użytkowników, którzy dopiero rozpoczynają pracę z robotami mobilnymi. Produkty te mają często także dedykowane zamknięte oprogramowanie, które nie pozwala większą ingerencję w funkcjonalność pojazdu. Platforma mobilna przeznaczona dla studentów kierunków technicznych powinna posiadać modułową budowę, być odporna na czynniki zewnętrzne oraz umożliwić dodawanie nowych funkcji bez zmiany sterownika.

Firma Wobit oferuje robota serii MOBOT [16] wraz kontrolerem opartym na mikroprocesorze ATmega128. Produkt ten pozwala wprowadzić na wykorzystanie w praktyce umiejętności programowania mikrokontrolerów rodziny AVR jednak jego możliwości są bardzo ograniczone. Jest to rozwiązanie tanie ale zaimplementowanie komunikacji na przykład z komputerem lub obsługi kamery stanowi wyzwanie i wymaga dużego doświadczenia. Firma National Instruments posiada w swojej ofercie również robota mobilnego: NI Single-Board RIO Robot [17]. Dzięki dedykowanemu sterownikowi sbRIO-9632 oraz licznym materiałom szkoleniowym można wykorzystać go w celach edukacyjnych jego wadą jest jednak wysoka cena. Lekka konstrukcja umożliwia wprowadzić płynne poruszanie na stosunkowo niewielkich kołach jednak nie zabezpiecza części elektronicznych przed czynnikami zewnętrznymi dlatego wymaga szczególnej dbałości i nie umożliwia użycia robota poza budynkiem. Zalety obydwu istniejących pojazdów można połączyć tworząc robota posiadającego solidną konstrukcję zabezpieczającą przed zniszczeniem, napęd pozwalający na przenoszenie dodatkowego oprzyrządowania oraz niedrogi łatwo programowalny sterownik o dużej mocy obliczeniowej oraz wielu wyjściach zarówno cyfrowych jak i analogowych.

Mając na uwadze rozwiązania przedstawione w pracach [1, 2, 3, 7, 10] na temat robotów mobilnych przystąpiono do prac nad stworzeniem rozwiązania, które byłoby bardziej otwarte na modyfikacje programowe jak i sprzętowe. W tym celu zakupiono gotową podstawę platformy mobilnej wyposażoną w silniki, enkodery oraz koła. W ramach pracy podłączone zostały takie komponenty jak akumulatory, mostki H umożliwiające sterowanie silnikami, czujniki odległości, kamera oraz kontroler myRIO firmy National Instruments. Kolejnym etapem po złożeniu konstrukcji było oprogramowanie kontrolera w środowisku LabVIEW.

Prosta i tania konstrukcja umożliwia testowanie pojazdu w zróżnicowanym terenie bez ryzyka zniszczenia drogich komponentów. Platforma powstała z myślą zarówno o początkujących użytkownikach, ale dzięki swojej wszechstronności umożliwia również realizację bardziej skomplikowanych projektów. W szczególności umożliwia pracę nad złożonymi algorytmami mapowania terenu oraz analizy obrazu w czasie rzeczywistym. Dzięki powstałej w ramach pracy platformie mobilnej, studenci wydziału będą mogli w praktyce wykorzystać swoje umiejętności programowania w LabVIEW oraz wiedzy na temat szeroko rozumianej robotyki bez konieczności zaczynania pracy od podstaw.

## 2. Konstrukcja platformy mobilnej

Użyta w projekcie konstrukcja mechaniczna wraz z napędem, kołami i mocowaniami została kupiona jako gotowy zestaw. Wybrano produkt firmy Wobit ze względu na kompaktowy kształt, dużą wytrzymałość, niską cenę i dużą moc silników.

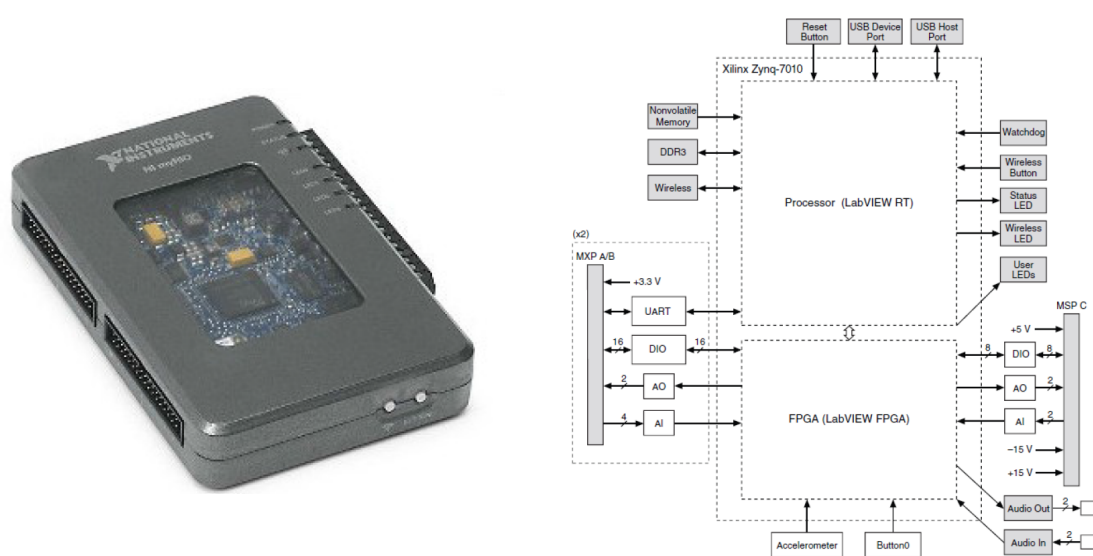
Sterowanie silnikami prądu stałego zrealizowane zostało przy użyciu dwóch modułów podwójnego mostka H L298N. Każdy moduł umożliwia płynną regulację prędkości jak i kierunku obrotu silników a wbudowane stabilizatory napięcia oraz diody zabezpieczające ułatwiają podłączenie. Do sterowania wielkością i polaryzacją przyłożonego na styki silników napięcia została wykorzystana popularna metoda modulacji szerokości impulsów (PWM) [15]. Odpowiednio dobrany krótki okres sterowania umożliwi długą i stabilną pracę silników. Platforma zasilana jest przez akumulator litowo-polimerowy o napięciu znamionowym 11,1V.

## 2.1. System sensoryczny

Układ sensoryczny na obecnym etapie składa się z czterech cyfrowych ultradźwiękowych czujników odległości HC-SR04 [11] oraz dwóch optoelektronicznych analogowych czujników odległości Sharp GP2Y0A02YK [12]. Prędkość oraz pozycje robota pozwalają określić enkodery optyczne oznaczone numerem SE22-200-250-2-CPU-S [13] umieszczone na wałach tylnych silników. Nachylenie platformy jest mierzone poprzez, wbudowany w kontroler, trójosiowy akcelerometr. Zastosowanie dwóch różnych rodzajów czujników odległości podyktowane zostało ich specyfiką. Czujniki Sharp wykazują się lepszą dokładnością pomiaru w zakresie 20 – 80 cm, potrafią wykryć przeszkody nachylone do toru pomiaru pod dużym kątem. Czujniki ultradźwiękowe natomiast pozwalają wykrywać przeszkody w odległości od 2-400 cm jednak ich wskazania są uzależnione od kąta między kierunkiem pomiaru a przeszkodą.

## 2.2. Sterownik

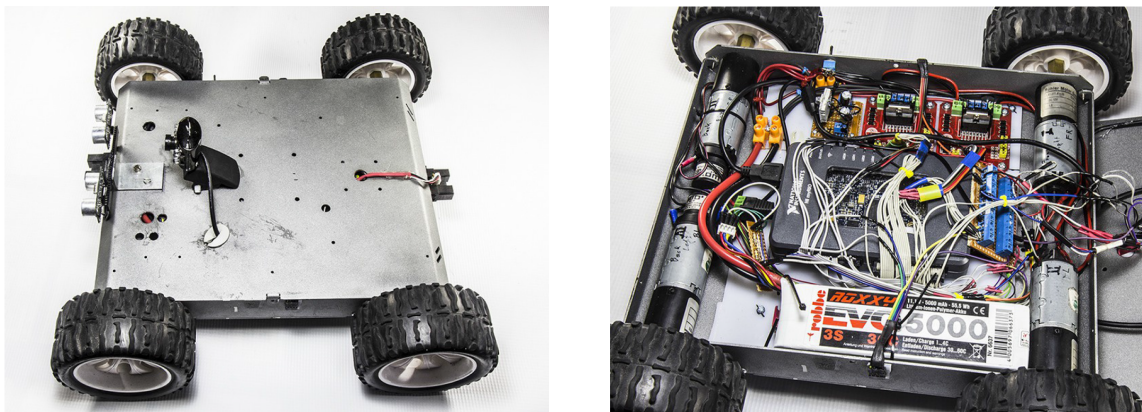
Centralnym elementem platformy mobilnej jest sterownik myRIO firmy National Instruments [14], który został wybrany ze względu na dużą moc obliczeniową oraz ilość wyprowadzonych sygnałów. Posiada 10 wejść i 6 wyjść analogowych a także 40 wejść/wyjść cyfrowych. Wspiera różne standardy komunikacji takie jak I2C, UART, SPI oraz posiada wbudowany moduł umożliwiający komunikację WiFi. Kontroler ten jest programowany w środowisku LabVIEW, ale można wywoływać w nim skrypty napisane w języku C i programie Matlab. Instalując dedykowane oprogramowanie można programować go również wyłącznie w języku C. Sterownik posiada w pełni programowalny system SoC Zynq® firmy Xilinx, który łączy dwurdzeniowy procesor ARM Cortex-A9 o częstotliwości taktowania zegara 667 MHz oraz macierz FPGA z 28 tysiącami komórek logicznych. Płytkę ewaluacyjną znajduje się w obudowie, która umożliwia zamocowanie sterownika bez konieczności montowania dodatkowych zabezpieczeń. Układ wyposażony jest również w diody LED umieszczone w widocznym miejscu na obudowie, które pokazują stan pracy układu. Wygląd sterownika myRIO i jego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Sterownik myRio i jego schemat blokowy [14]

### 2.3. Wygląd platformy mobilnej

Po dobraniu odpowiednich elementów przystąpiono do zaplanowania ich rozmieszczenia wewnątrz konstrukcji, ograniczeniem była jej wielkość oraz z góry ustalone położenie silników. Na rysunku 2 przedstawiono gotową platformę z zainstalowanym kompletnym wyposażeniem.



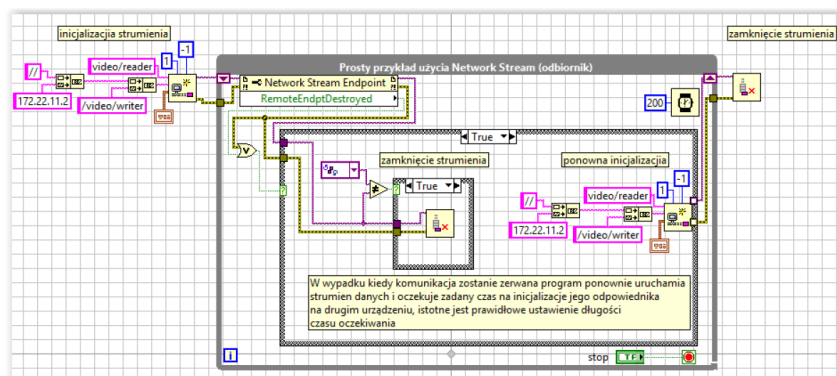
Rys. 2. Platforma mobilna, widok ogólny i rozmieszczenie elementów

## 3. Opis oprogramowania sterującego

Robot mobilny został w całości oprogramowany w środowisku LabVIEW 2013. Oprogramowanie składa się z części przeznaczanej na komputer PC (host) oraz na kontroler NI myRIO (target). Osobno zostały zaimplementowane niskopoziomowe funkcje obsługujące czujniki i mostki H jako program osadzony bezpośrednio na układzie FPGA a osobno część RT, która jest odpowiedzialna za obsługę strumieni danych pomiędzy układem FPGA a komputerem oraz odczytywanie obrazu z kamery połączonej z wykorzystaniem portu USB, pracującego w trybie host, umieszczonego na sterowniku. Projekt w podstawowej wersji składa się łącznie z 20 VI (programów) i można przyjąć, że jest to system średniej wielkości. Program PC korzysta z 10 podprogramów, a RT z 8 jednak istnieją takie programy, które są używane na obydwu platformach.

### 3.1. Wymiana danych

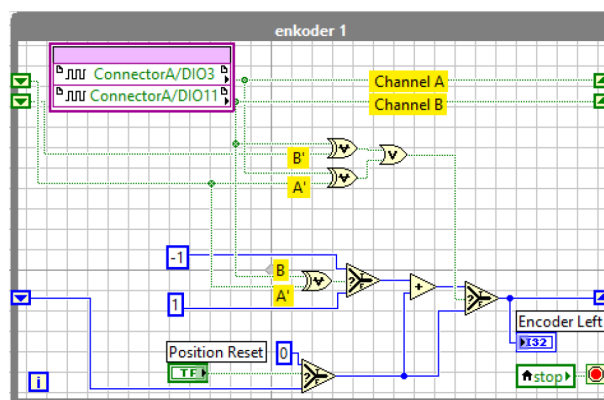
W przypadku realizacji oprogramowania platformy mobilnej ważnym aspektem była poprawna realizacja wymiany danych między poszczególnymi elementami systemu PC (host) myRio (target). Oprogramowanie LabVIEW udostępnia kilka metod realizacji komunikacji między urządzeniami bez względu na sposób podłączenia. Najprostszą z nich jest użycie zmiennych globalnych (Global Variable) [6]. Metoda ta jest bardzo prosta w implementacji i zalecana w celu wymiany pojedynczych zmiennych jednak nie jest wskazana dla zastosowań gdzie wymagany jest determinizm czasowy. Do wysyłania dużych pakietów danych w szczególności obrazów można użyć strumieni danych (Network Stream) [6]. W odróżnieniu od zmiennych globalnych jest to komunikacja bezstratna i umożliwia przesyłanie również danych o dużej objętości. Jest to także komunikacja jednostronna. Jej implementacja wymaga jednak stworzenia bardziej złożonej struktury, która została przedstawiona na rysunku 3 .



Rys. 3. Prosty przykład użycia strumieni danych do komunikacji pomiędzy komputerem PC a sterownikiem

### 3.2. Struktura FPGA

Główną zaletą umieszczania krytycznych części programu na procesorze FPGA sterownika jest jego bardzo wysoka wydajność. Program jest wykonywany bezpośrednio na odpowiednio połączonych brankach logicznych dzięki czemu czas jego wykonania jest optymalny. Wadą tego typu rozwiązania jest długi czas kompilacji kodu LabVIEW na FPGA, który nawet dla prostych programów przekracza często 30 minut. Program składa się z 14 pętli *while*, których czas wykonywania różni się w zależności od funkcji jakie wykonują. W obecnej wersji platformy mobilnej układ FPGA obsługuje 4 czujniki ultradźwiękowe, dwa czujniki odległości Sharp, dwa optyczne enkodery inkrementalne, cztery silniki prądu stałego oraz trzy diody LED umieszczone na obudowie sterownika. Program monitoruje także napięcie na poszczególnych celach akumulatora oraz wskazania trójosiowego akcelerometru. Na rysunku 4 przedstawiono jeden z elementów zaimplementowanych w strukturze FPGA, który odpowiada za obsługę enkoderów optycznych.



Rys. 4. Wątek obsługujący enkoder optyczny

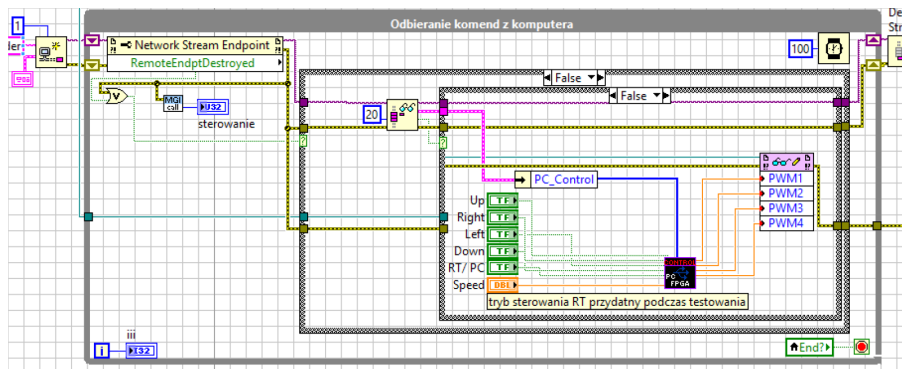
### 3.3. System czasu rzeczywistego RT

Część oprogramowania sterownika platformy mobilnej pracuje pod kontrolą systemu czasu rzeczywistego RT-Linux. Realizuje on trzy główne wątki. Pierwszy wątek stanowi struktura producent-konsument złożona z dwóch pętli *while* połączonych za pomocą kolejki. Taką metodę akwizycji i przesyłania obrazu zastosowano w celu minima-

lizacji wzajemnego wpływu prędkości kamery i transmisji danych do komputera.

Kolejna część programu odpowiada za pobranie i przetworzenie danych z czujników oraz przesłanie ich do komputera. Aby zwiększyć czytelność kodu zastosowano zmienne lokalne. Ze względu na to, że LabVIEW jest językiem wysokiego poziomu może to mieć nieznaczny wpływ na spadek prędkości wykonania programu.

Ostatnim elementem programu jest odbieranie komend z komputera dotyczących szybkości i kierunku poruszania się platformy mobilnej. Fragment programu realizujący to zadanie został przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Wątek odpowiadający za odbieranie komend z komputera PC

### 3.4. Panel operatora

Urządzeniem odpowiedzialnym za sterowanie ruchem platformy oraz częściowe przetwarzanie informacji jest komputer PC. Głównym zadaniem oprogramowania komputera jest analiza i wyświetlanie danych otrzymywanych ze sterownika myRIO oraz wysyłanie poleceń do sterownika. W obecnej wersji oprogramowania platformy mobilnej komputer wysyła do sterownika jedynie dane dotyczące zadanej prędkości silników napędowych. Struktura oprogramowania na komputerze PC realizuje obsługę trzech zadań. Pierwsze odczytuje wskazania czujników umieszczonych na platformie oraz informuje operatora w trybie inspekcyjnym o zbliżających się przeszkodach. Drugie zadanie odbiera obrazy z kamery umieszczonej na górnej części pojazdu i umożliwia ich przetwarzanie. W obecnej wersji zastosowano program Vision Assistant, który pozwala na zapoznanie się z podstawowymi funkcjami przetwarzania obrazu. Trzecie zadanie odpowiada za przygotowanie poleceń regulujących prędkości silników. Tryb manualny polega na odpowiedniej interpretacji wciśniętych klawiszy na klawiaturze komputera. Zastosowana struktura *case selector* związana z wyborem zakładek na panelu operatorskim umożliwia daleko idące modyfikacje dotyczące sposobu sterowania platformą. W ramach przykładu powstał również prosty program autonomicznego poruszania platformy. Procedura poruszania się polega na tym, że na podstawie wskazań przednich czujników odległości pojazd skręca przed przeszkodą w stronę czujnika wskazującego większą odległość. Algorytm ten został zaimplementowany z wykorzystaniem maszyny stanów. Ze względu na swoją prostotę nie ma on dużego praktycznego zastosowania ale prezentuje sposób w jaki można wprowadzać do istniejącej struktury nowe rozwiązania, a także pozwala na testowanie urządzenia, na przykład pod kątem niezawodności. Wygląd panelu operatora uruchomionego na komputerze PC przedstawiony został na rysunku 6.



Rys. 6. Widok panelu operatorskiego

#### 4. Podsumowanie

W ramach opisanej pracy została zbudowana i oprogramowana platforma mobilna spełniająca wymagania postawione przed nią podczas planowania. Zwarta i solidna konstrukcja mieści wszystkie kluczowe komponenty i pozostawia możliwość montażu dodatkowego osprzętu. Zaletą platformy mobilnej jest długi czas pracy bez wymiany baterii oraz odporność na uszkodzenia mechaniczne. Możliwość zapisu charakterystyk wszystkich pomiarów pozwala na wykorzystanie platformy mobilnej także w pracach badawczych i edukacyjnych.

Stworzone oprogramowania pozwala na wykorzystanie podstawowych funkcjonalności pojazdu, ale stanowi również szkielet umożliwiający wykonanie bardziej skomplikowanych zadań. Jednym z kierunków rozwoju może być przetwarzanie obrazu z kamery w celu analizy otoczenia w tym rozpoznawanie znaków lub przedmiotów i ludzi. Po zastosowaniu kamery o większej rozdzielczości można podjąć próbę stworzenia zaawansowanego algorytmu na przykład rozpoznającego rannych w ruinach budynków po trzęsieniach ziemi [5]. Projekt platformy umożliwia dodanie nowych elementów, na przykład modułów komunikacyjnych. Zastosowanie komunikacji ZigBee umożliwiłoby zwiększenie zasięgu z kilkunastu do nawet kilkuset metrów [4]. Mnogość wolnych wejść/wyjść cyfrowych i analogowych oraz zasoby procesora umożliwiają podłączenie także bardziej wymagających czujników np. dalmierza laserowego. Podłączenie sześciosiowego ramienia oraz specjalistycznych czujników na przykład temperatury, wilgotności czy obecności gazu zamieniłoby platformę w jednostkę do zadań niebezpiecznych dla człowieka.

Niniejsza praca finansowana była z funduszu BK-213/RAu1/2016

#### LITERATURA

1. Babiarez A., Jaskot K.: The project of autonomous mobile robot, International Carpathian Control Conference ICC' 2008, s. 26-29, Sinaia, Romania.
2. Babiarez A., Jaskot K.: Autonomous Mobile Platform, International Carpathian Control Conference ICC' 2010, s. 179-183, Eger, Hungary.
3. Babiarez A., Jaskot K.: Autonomous mobile platform II, International Carpathian Control Conference ICC' 2011, s.167-171, Velke Karlovice, Czech Republic.
4. Babiarez A., Jaskot K., Koralewicz P.: The control system for autonomous mobile

- platform, *Advanced technologies for intelligent systems of national border security*, s. 15-28, w serii *Studies in Computational Intelligence* vol. 440, Springer 2013.
5. Babioch K., Jaskot K.: Robot inspekcyjny, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2015 R. 91 nr 1, s. 55-64.
  6. Bitter R., Mohiuddin T., Nawrocki M.: *LabVIEW : advanced programming techniques - 2nd ed.* 2007, ISBN 0-8493-3325-3.
  7. Chojecki R., Olszewski M., Pietrzak T., Fryc P., Wałęcki M.: Budowa inspekcyjnego robota mobilnego WARRIOR I. *PROGRESS IN ROBOTICS*. Praca zbiorowa pod redakcją Krzysztofa Tchonia. Warszawa 2008, ISBN 978-83-206-1720-7.
  8. Czupryniak R., Szynkarczyk P., Trojnacki M.: Tendencje rozwoju mobilnych robotów lądowych, *Przegląd robotów mobilnych do zastosowań specjalnych, Pomiary Automatyka Robotyka*, 6/2008, s.11–14, 2008.
  9. Czupryniak R., Trojnacki, M.: Taktyczny robot miotany, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektronika*, z. 175, t. 1, s.149–160, 2010.
  10. Jaskot K., Myśliwiec R.: Path planning algorithms for autonomous mobile platform, *Innovative simulation systems*, s. 423-444, w serii: *Studies in Systems, Decision and Control* vol. 33, Springer, 2016.
  11. Strona producenta: [http : //www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf](http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf)
  12. Strona producenta: [http : //www.sharpsme.com/download/GP2Y0A02YK-DATA-SHEETPDF](http://www.sharpsme.com/download/GP2Y0A02YK-DATA-SHEETPDF)
  13. Strona producenta: [http : //www.motordrives.com.au](http://www.motordrives.com.au)
  14. Strona producenta: [www.ni.com/myrio/](http://www.ni.com/myrio/)
  15. Strona www: [http : //mikrokontrolery.blogspot.com/2011/04/silnik-dc\\_14.html](http://mikrokontrolery.blogspot.com/2011/04/silnik-dc_14.html)
  16. Strona producenta: [http : //www.mobot.pl](http://www.mobot.pl)
  17. Strona producenta: [http : //zone.ni.com/reference/en-XX/help/372983F-01/lvrobogsm/robo\\_skit\\_overview](http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/372983F-01/lvrobogsm/robo_skit_overview)