

# Przystosowanie pojazdu terenowego typu ATV do zdalnego sterowania

Rafał Chojecki, Filip Jankun, Jakub Dębski, Mariusz Olszewski

Instytut Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej

W artykule opisano projekt Koła Naukowego „Cyborg++”, którego celem było przystosowanie pojazdu typu ATV (*All-Terrain Vehicle*), nazywanego potocznie quadem, do zdalnego sterowania. Pojazd sterowany jest drogą radiową przez operatora wspomagane systemem komputerowym. W ramach projektu zautomatyzowano sterowanie quada (obsługę gazu, hamulca, kierownicy oraz innych urządzeń pokładowych), a na jego pokładzie zamontowano mikrokomputer sterujący. W projekcie zastosowano sieć komunikacyjną CAN, zgodnie z obecnymi tendencjami przekazywania i wymiany informacji w pojazdach.

**Słowa kluczowe:** robotyka mobilna, nawigacja, sensoryka, pojazd terenowy

Rozwiązania robotów przemysłowych osiągnęły już poziom gwarantujący możliwość robotyzacji wszystkich podstawowych zadań produkcyjnych. Inaczej przedstawia się sytuacja na rynku robotów usługowych, gdzie prace badawczo-rozwojowe mogą dopiero otworzyć możliwości ich szerszego, niż obecnie, zastosowania. Do tej grupy maszyn zalicza się też roboty mobilne [1, 2, 3].

Mobilne roboty usługowe mogą być wykorzystane do realizacji zadań transportowych połączonych z zadaniami manipulacyjnymi odciażających człowieka od uciążliwych lub niebezpiecznych czynności życia codziennego i sytuacji nadzwyczajnych, od robotyzacji mieszkań, centrów handlowych, muzeów, biur i szpitali, przez usuwanie skutków katastrof cywilnych i przemysłowych, aż do wspomaganie działań policyjnych i saperskich [3, 4, 5].

Budżet przeznaczony na badania i rozwój mobilnej robotyki usługowej przekracza obecnie 500 mln dolarów rocznie w skali światowej i jest jednym z najszybciej rozwijających się obszarów współczesnej robotyki [4, 5].

Rosnące zainteresowanie maszynami robotyki usługowej stały się motywacją do zintensyfikowania prac badawczo-rozwojowych w tym obszarze, prowadzonych od kilku lat w Pracowni Robotyki Instytutu Automatyki i Robotyki, w ścisłej współpracy ze studentem Kołem Naukowym „Cyborg++”, na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

## Cel i założenia projektu

Celem opisywanego projektu jest przystosowanie pojazdu terenowego typu ATV (rys. 1) z napędem spalinowym, do zdalnego sterowania. Głównym założeniem projektu było wykorzystanie komunikacji radiowej oraz rozproszonego, modułowego układu sterowania, wykorzystującego przemysłową sieć telekomunikacyjną CAN, należącą do tzw. otwartych systemów sieciowych.

Projekt podzielono na trzy główne etapy:

- zautomatyzowanie układów wykonawczych pojazdu, w tym kierowniczego, przyspieszenia i hamulcowego, przyjmując następujące założenia:
  - stosowanie standardów przemysłowych
  - modułowość rozwiązań

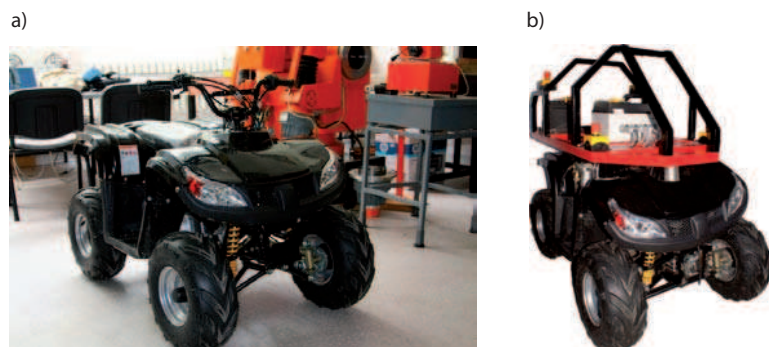
- szybkość działania
- niezawodność
- łatwość montażu/demontażu
- opracowanie wielopoziomowego układu sterowania, umożliwiającego przyjmowanie rozkazów z różnych źródeł (aparatura radiowa, panel teleoperatora, komputer nadrzędny)
- wykonanie mobilnej platformy o dużej ładowności, m.in. dla złożonego systemu sensorycznego.

## Budowa platformy pojazdu

Zgodnie z założeniami jako platformę pojazdu wykorzystano w projekcie pojazd terenowy typu ATV. Na wybór takiego rozwiązania miało wpływ kilka czynników:

- możliwość przemieszczania się pojazdu w terenie
- ekonomiczny napęd spalinowy, zapewniający długi czas pracy i minimalne czynności obsługowe
- nośność pojazdu umożliwiająca instalację wyposażenia
- automatyczna skrzynia biegów, ułatwiająca automatyzację układów wykonawczych
- prosta, podatna na modyfikacje konstrukcja pojazdu
- dostępność części zapasowych
- niska cena.

Układem napędowym pojazdu bazowego jest silnik spalinowy, co jest atutem w porównaniu z napędem elektrycznym, pozwalający wydłużyć czas pracy maszyny. Energia elektryczna wykorzystana jest jedynie do zasilania układów sterowania. Przy po-



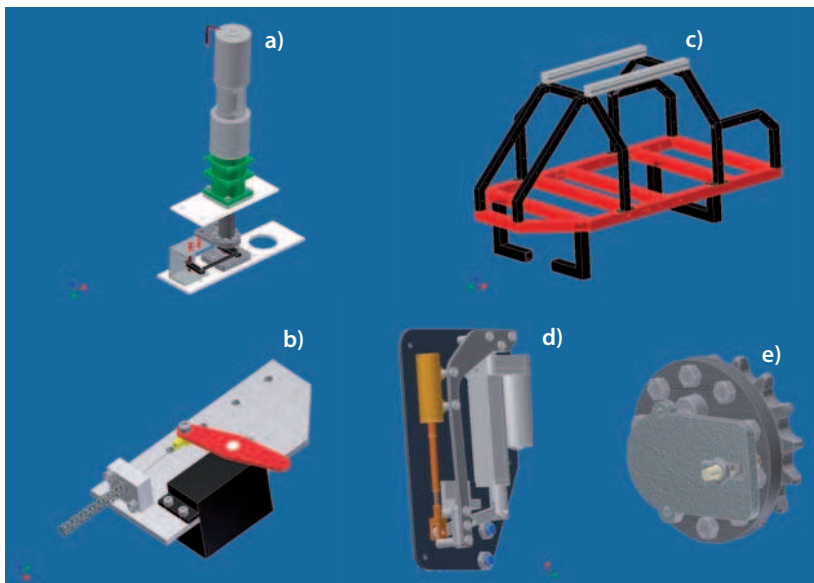
**Rys. 1.** Przebudowa pojazdu terenowego: a) pojazd bazowy (handlowy), b) pojazd przystosowany do zdalnego sterowania

**Fig. 1.** Alteration of an all-terrain vehicle: a) base vehicle (commercial), b) vehicle adapted to remote control

jemności akumulatorów 51 Ah czas pracy pojazdu wynosi ponad 10 godzin, przy średnim zużyciu paliwa 1,5 l/100 km, zasięgu ponad 250 km przy prędkości sięgającej 50 km/h, co jest nieosiągalne w przypadku napędu elektrycznego. Ze względów bezpieczeństwa prędkość maksymalna pojazdu została ograniczona do 30 km/h. Wyposażenie układu napędowego w półautomatyczną skrzynię biegów zapewnia prostą zmianę kierunku jazdy.

Modyfikacja układu kierowniczego pojazdu wymagała całkowitego usunięcia oryginalnej kolumny kierowniczej i zastąpienia jej serwomechanizmem przymocowanym do specjalnie zaprojektowanych i wykonanych wsporników (rys. 2a). Układ ten zbudowany został z silnika prądu stałego o nominalnym napięciu zasilania 24 V oraz współpracującej z nim przekładni planetarnej o przełożeniu 576:1. Serwomechanizm pozwala osiągnąć wyjściowy moment obrotowy o wartości 61 Nm i prędkość obrotową 5,7 obr/min, co daje czas skrętu od pozycji środkowej do skrajnego położenia poniżej 1 s. Wałek wyjściowy z przekładni został przedłużony w celu przyspawania do niego tarczy, do której przykręcony został wodzik do montażu przegubów kulistych drążków skrętu kół. Do wałka przymocowany został także drugi wodzik, który na zasadzie równoległoboku przenosi pozycję skrętu na potencjometr pomiaru kąta skrętu. Skrajne pozycje skrętu kół wykrywane są przez dwa sensory indukcyjne, które w momencie wykrycia wodzika powodują zatrzymanie silnika napędzającego układ skrętu.

Modyfikacja układu przyspieszenia, w oryginalnym wykonaniu wykorzystująca sterowanie przepustnicy gaźnika linką, polegała na zastosowaniu aktuatora w postaci serwomechanizmu modelarskiego. Serwomechanizm zamontowany jest na płytce montażowej, przytwierdzonej do ramy pojazdu. Linka gazu połączona jest z orczykiem serwomechanizmu za pomocą przegubu kulistego (rys. 2b). Sterowanie przyspieszeniem pojazdu odbywa się przez wymuszenie odpowiedniej pozycji orczyka serwomechanizmu, powodując wyciągnięcie linki gazu. Serwomechanizm sterowany jest za pomocą współczynnika wypełnienia szerokości impulsu napięcia zasilającego serwomechanizm (PWM).



**Rys. 2.** Elementy pojazdu terenowego przystosowanego do zdalnego sterowania: a) napęd układu kierowniczego, b) układ przyspieszenia, c) rama zewnętrzna, d) układ hamulcowy, e) sensor pomiaru prędkości

**Fig. 2.** Elements of an all-terrain vehicle adapted to remote control: a) drive of a steering system, b) accelerator system, c) outside underframe, d) brake system, e) sensor of the speed

Bezpośrednio z układem sterowania przyspieszeniem współpracuje w pętli sprzężenia zwrotnego sensor prędkości obrotowej wałka zdawczego na wyjściu silnika spalinowego pojazdu (rys. 2e). Pomiar realizowany jest za pomocą czujnika indukcyjnego, pobudzanego przez metalowe kołeczki przykręcone do obracającej się tarczy. Liczba impulsów zliczana jest przez układ elektroniczny i przeliczana na prędkość poruszania się pojazdu.

W zmodyfikowanym układzie hamulcowym (rys. 2d) wykorzystano opracowany i wykonany specjalnie sprzęg pompy hydraulicznej z siłownikiem liniowym o zakresie ruchu 50 mm. Siłownik działa z siłą 100 N konieczną do awaryjnego zatrzymania pojazdu. Zaletą wybranego rozwiązania układu hamulcowego jest jego samohamowność, co pozwala na zatrzymanie siłownika w wybranej pozycji bez potrzeby ciągłego zasilania, zwiększając tym samym energooszczędność maszyny.

Modyfikacja układu zawieszenia miała na celu poprawienie właściwości terenowych pojazdu bazowego: obniżenie środka ciężkości oraz zmniejszenie sztywności oryginalnych amortyzatorów. Pojazd został także wyposażony w dodatkową zewnętrzną ramę (rys. 2c), służącą do montowania elementów układu sterowania oraz aplikacyjnego osprzętu. Zbudowana rama dokręcana jest do czterech wsporników przyspawanych do oryginalnej ramy pojazdu, co zapewnia szybkość jej montażu i demontażu. Tył ramy wraz z elementami bocznymi przygotowany został pod montaż akumulatorów samochodowych stosowanych do zasilania układów elektronicznych. Rama w całości wykonana jest z profili stalowych zapewniających obciążalność rzędu kilkuset kilogramów. Opracowana w ten sposób rama spełnia wymagania zarówno konstrukcyjno-użytkowe, jak i estetyczne. Swoim kształtem przypomina klatki bezpieczeństwa instalowane na pojazdach terenowych.

## Układ sterowania

W obecnej fazie projektu pojazd jest już przystosowany do pracy zdalnej. Celem tego etapu było przetestowanie zastosowanych rozwiązań układu sterowania oraz układów mechanicznych. Do sterowania robota wykorzystano aparaturę modelarską. Transmisja radiowa odbywa się tylko w jednym kierunku, operator nie ma żadnych informacji zwrotnych od pojazdu, dlatego niezbędny jest bezpośredni kontakt wzrokowy z pojazdem. Zestaw radiowy pracuje na częstotliwości 35 MHz. Każdy z przesyłanych sygnałów jest reprezentowany przez przebieg o zmiennym wypełnieniu (PWM) i częstotliwości 50 Hz. Przebiegi są dekodowane przez sterownik typu master, a odpowiednie rozkazy wysyłane są przez magistralę CAN do sterowników układów wykonawczych. Pracą sterowników dołączonych do magistrali CAN także zarządza sterownik typu master. Rolę sterownika master pełni mikrokontroler, do którego można podłączyć bezprzewodowe łącze szeregowe lub aparaturę radiową.

Podczas realizacji projektu opracowano i zastosowano w pojeździe uniwersalny układ sterowania. Głównymi wymaganiami stawianymi układom sterowania w tego typu pojazdach

jest niezawodność, zapewniająca bezpieczeństwo ruchu. Bardzo istotna jest również niezawodność transmisji sieciowej. Ze względu na rozwojowy charakter projektu zastosowano modułową budowę układu sterowania, dzięki czemu, np. zmiana lub dodanie kolejnych urządzeń wykonawczych, sensorycznych lub diagnostycznych nie będą powodowały konieczności wymiany całego układu sterowania.

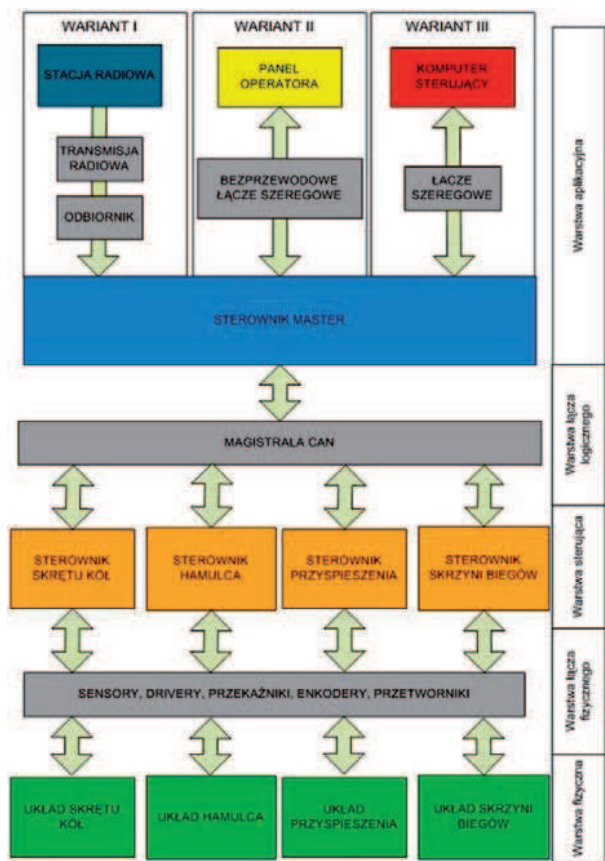
Dla spełnienia wymagań stawianych układowi sterowania została opracowana architektura podobna do stosowanej w sieciach typu Fieldbus według modelu odniesienia ISO/OSI. Na układ sterowania składa się pięć warstw, gdzie, podobnie jak w przypadku sieci, dana warstwa może komunikować się tylko z warstwami sąsiadującymi. Warstwy te to (rys. 3):

- **warstwa fizyczna** stanowiąca najniższy poziom, zawierający elementy mechaniczne odpowiedzialne za sterowanie pojazdem. W tej warstwie znajdują się wszystkie aktuatory, serwo-mechanizmy oraz elementy mające fizyczny wpływ na pracę układu
- **warstwa łącza fizycznego** zawierająca stopnie mocy silników oraz układy sprzężenia zwrotnego, sensory, czujniki oraz inne urządzenia dostarczające informacje o aktualnym stanie elementów wykonawczych dla algorytmów sterowania i regulacji
- **warstwa sterująca** zbudowana z mikroprocesorowych sterowników każdego z elementów wykonawczych. Sterowniki samodzielnie realizują algorytmy regulacji przyjmując wartości wejściowe z warstwy łącza logicznego i z warstwy łącza fizycznego, zwracając wynik regulacji do jednostki nadrzędnej przez warstwę łącza logicznego
- **warstwa łącza logicznego** umożliwiająca urządzeniom warstwy sterującej wymianę informacji oraz dwukierunkową komunikację z warstwą aplikacyjną; tedy przesyłane są polecenia dla poszczególnych zespołów fizycznych oraz odbierane są informacje o stanie poszczególnych układów
- **warstwa aplikacyjna** odpowiadająca za realizację logiki sterującej. Może to być układ interakcji maszyny z człowiekiem lub komputer o cechach sztucznej inteligencji. W warstwie tej zawarte są również układy sensoryczne dostarczające informacje do komputera realizującego zaprogramowany algorytm działania.

Warstwa fizyczna oraz warstwa łącza fizycznego zostały narzucone przez koncepcję mechanicznej realizacji projektu. Pozostałe warstwy zostały opracowane w celu spełnienia wymagań stawianych układowi sterowania. Zgodnie z założeniami każdy inteligentny moduł wykonawczy musi mieć własny algorytm działania, dlatego proponowanym rozwiązaniem są cztery sterowniki mikroprocesorowe. Sterowniki połączone są magistralą CAN.

Sterowniki urządzeń wykonawczych zostały zbudowane na bazie mikrokontrolera 8-bitowego o wydajności 16 MIPS z wbudowanym interfejsem CAN. Sterownik typu *master* wykorzystuje mikrokontroler 32-bitowy o wydajności 90 MIPS z wbudowanym interfejsem CAN i możliwością instalacji systemu czasu rzeczywistego (*FreeRTOS*).

Warstwa łącza logicznego odpowiada za komunikację między sterownikami układów wykonawczych a sterownikiem typu *master*. Układ sterowania nie zakłada wzajemnej komunikacji między sterownikami z warstwy sterującej. Jeżeli jednak w przyszłości taka potrzeba wystąpi, zastosowana magistrala sieciowa taką komunikację umożliwi. Zasadniczym wymaganiem dla warstwy łącza logicznego jest pewna oraz szyb-



Rys. 3. Schemat blokowy zdalnego sterowania pojazdu terenowego

Fig. 3. Schematic diagram of the remote control for an all-terrain vehicle

ka wymiana krótkich informacji pomiędzy wieloma urządzeniami. Zastosowana sieć CAN taką komunikację umożliwia.

Warstwa aplikacyjna odpowiada za logikę działania pojazdu. Jest ona zaprojektowana tak, aby można było ją zmieniać w zależności od potrzeb i wymagań danego rozwiązania. Opracowano trzy warianty dla tej warstwy. Dwa z nich są wariantami pracy pod zdalną kontrolą człowieka, trzeci zakłada działanie autonomiczne. Niezmiennym elementem tej warstwy jest sterownik typu *master* oparty na sterowniku elektronicznym z licznymi interfejsami, umożliwiającymi dołączanie różnych elementów. Ze sterownikiem *master* łączy się przez jeden z wielu interfejsów nadrzędny układ sterowania. Układ *master* sam nie podejmuje decyzji, oczekuje na polecenia z układu nadrzędnego, następnie steruje pojazdem. Układ *master* stanowi połączenie fizycznej części pojazdu z częścią logiczno-sterującą.

Pojazd został wyposażony w dwie niezależne instalacje elektryczne. Pierwsza 12 V do rozruchu silnika spalinowego, druga 24 V do zasilania układów sterowania i układów elektronicznych. Układy sterowania i układy elektroniczne zasilane są przez dwa 12 V akumulatory samochodowe. Szeregowo połączone akumulatory zasilają napięciem 24 V układy elektroniczne, które przez zintegrowane stopnie mocy przekazują napięcie na silniki zautomatyzowanych układów sterowania przyspieszeniem, skrzętem kół oraz hamulcem. W celu zapewnienia bezpieczeństwa podczas awarii układów sterowania, na pojeździe zainstalowano cztery wyłączniki bezpieczeństwa, które po włączeniu odcinają zasilanie cewki silnika, powodując jego zatrzymanie oraz wysyłają sygnał do układu elektronicznego o awarii, co powoduje bezwarunkowe włączenie hamulca i zatrzymanie pojazdu.



## Podsumowanie i planowany rozwój projektu

Po zakończeniu pierwszego etapu projektu i skompletowaniu pojazdu przeprowadzono testy i próby zarówno poszczególnych zespołów robota, jak i całego pojazdu. Testy wykazały poprawność przyjętych rozwiązań. Układ sterowania oraz zespoły mechaniczne podczas wielogodzinnych testów działały zgodnie z założeniami.

Obecnie projekt jest w trakcie realizacji drugiego etapu budowy autonomicznego pojazdu terenowego, wykorzystując dotychczasowe wyniki prac badawczych Instytutu w zakresie sensoryki, lokalizacji i nawigacji robotów mobilnych [6, 7]. Na realizowanym etapie zaplanowano:

- wyposażenie pojazdu w komputerowy układ sterowania
- opracowanie rozbudowanego układu sensorycznego, składającego się z systemów wizyjnych, skanera laserowego oraz odbiornika GPS
- wyposażenie pojazdu w wielokanałowy radiowy system zdalnego sterowania
- opracowanie aplikacji sterującej.

## Bibliografia

1. Chojecki R., Olszewski M., Pietrzak T., Fryc P., Wałęcki M.: *Budowa inspekcyjnego robota mobilnego WARRIOR I*. Problemy Robotyki, praca zbiorowa pod red. K. Tchonja i C. Zielińskiego. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Elektronika, z. 166. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008, s. 153–160.
2. Chojecki R., Olszewski M.: *A Mobile Robot for Laboratory Purposes and Its Applications*. PAK 55 nr 3/2009, s. 190–193.
3. Chojecki R., Olszewski M., Szykiewicz W., Trojanek P.: *Laboratoryjny robot mobilny ELEKTRON i jego aplikacje*. *Konf. Nauk.-Techn. Automatyzacja-Nowości-Perspektywy AUTOMATION'2007, Warszawa 2007, CD ROM*.
4. Likowski M., Łuczak W., Załoga S.: *Armia czasów wojny i transformacji*. *RAPORT Wojsko-Technika-Obronność, 11/2003, s. 4–13*.
5. Łuczak W.: *Rewolucje w US Army*. *RAPORT Wojsko-Technika-Obronność, 12/2002, Warszawa, 2002, s. 36–45*.
6. Olszewski M., Siemiątkowska B., Chojecki R., Marcinkiewicz P., Trojanek P., Majchrowski M.: *Mobile Robot Localization Using Laser Range Scanner and Omnicamera*. 16<sup>th</sup> Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control, ROMANSY 2006. Springer, Warszawa 2006.
7. Siemiątkowska B., Olszewski M., Chojecki R., Zajac M.: *Mobile Robot Navigation Using Cellular Neural Network*. 17<sup>th</sup> Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, ROMANSY 2008, Tokyo 2008. ■

### Adjust an all-terrain vehicle to remote control

This article describes a project conducted by a student scientific circle "Cyborg++". The aim of the project was to adjust an all-terrain vehicle (ATV), informally referred to as a quad, so that it can be remote controlled by a human. The vehicle is controlled by means of radio waves by an operator supported by a computer system. The project also involved automa-

ting the quad's control system (the accelerator, the brake, the steering wheel and other onboard devices) as well as installing a controlling microcomputer on the vehicle's board. The CAN bus was used in the project in accordance with the latest trends in mobile vehicles.

**Keywords:** mobile robotics, navigation, sensorics, all-terrain vehicle

#### mgr inż. Rafał Chojecki

Absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Asystent w Zakładzie Urządzeń Wykonawczych Automatyki i Robotyki Instytutu Automatyki i Robotyki. W pracy naukowo-badawczej zajmuje się zagadnieniami budowy robotów i systemów nawigacyjnych robotów mobilnych. Jest autorem kilkunastu prototypowych robotów mobilnych oraz opiekunem koła Naukowego Cyborg++.

e-mail: [r.chojecki@mchtr.pw.edu.pl](mailto:r.chojecki@mchtr.pw.edu.pl)



#### inż. Filip Jankun

Absolwent studiów inżynierskich na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Główne zainteresowania to budowa systemów sterowania robotów mobilnych. Jest prezesem Koła Naukowego Cyborg++.

e-mail: [fjankun@gmail.com](mailto:fjankun@gmail.com)



#### inż. Jakub Dębski

Absolwent studiów inżynierskich na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Główne zainteresowania to zagadnienia budowy i sterowania robotów mobilnych. Obecnie jest członkiem Koła Naukowego Cyborg++.

e-mail: [j.dębski@mchtr.pw.edu.pl](mailto:j.dębski@mchtr.pw.edu.pl)



#### prof. nzw. dr hab. inż. Mariusz Olszewski

Absolwent, obecnie profesor, od 1994 r. dyrektor Instytutu Automatyki i Robotyki na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, stypendysta niemieckiej Fundacji Alexandra v. Humboldta, członek konsorcjum Europejskiej Sieci Centrów Techniki Płynowej (FPCE). Staże naukowe w Reńsko-Westfalskiej Politechnice w Akwizgranie i Uniwersytecie Technicznym w Sztuttgarcie, praktyki w niemieckim przemyśle precyzyjnym i mechatronicznym. Specjalista i autor publikacji, książek, podręczników, patentów i wdrożeń z zakresu budowy i sterowania urządzeń wykonawczych automatyki, robotyki przemysłowej i mechatroniki. Wieloletnia praktyka w kierowaniu krajowymi i międzynarodowymi projektami badawczymi i rozwojowymi.

e-mail: [m.olszewski@mchtr.pw.edu.pl](mailto:m.olszewski@mchtr.pw.edu.pl)

