

Terenowa platforma mobilna RoMegAT

Rafał Chojecki, Jakub Michalski, Michał Wałęcki, Mateusz Wiśniowski

Materials Engineers Group Sp. z o.o.

Streszczenie: W artykule opisano nowoczesną platformę mobilną z elektrycznym napędem w wariantach 4 x 4 lub trójkołowym 2 x 3. Roboty mobilne tego typu mogą być stosowane w automatycznym dozorze dużych obszarów, wspomaganie ekip ratowniczych i antyterrorystycznych, zdalnych inspekcji instalacji przemysłowych i wielu innych. Prace badawcze nad tego rodzaju systemami wymagają odpowiedniej platformy mobilnej, mogącej sprostać zarówno wymogowi poruszania się w terenie, jak i możliwością poruszania się w budynkach, w których mieszczą się laboratoria. Unikalna konstrukcja prezentowanego robota RoMegAT, opracowanego przez Materials Engineers Group, pozwala na stosowanie go zarówno w warunkach terenowych, jak i wewnątrz budynków.

Słowa kluczowe: robotyka mobilna, ATV

1. Wstęp

Prace badawcze nad autonomiczną nawigacją pojazdów mogących poruszać się w warunkach zewnętrznych są obecnie prowadzone w wielu ośrodkach naukowych i w najbliższej przyszłości mogą znaleźć komercyjne zastosowania. Roboty mobilne tego typu mogą być stosowane w automatycznym dozorze dużych obszarów, wspomaganie ekip ratowniczych i antyterrorystycznych, zdalnych inspekcji instalacji przemysłowych i wielu innych. Prace badawcze nad tego rodzaju systemami wymagają odpowiedniej platformy mobilnej, mogącej sprostać zarówno wymogowi poruszania się w terenie, jak i możliwością poruszania się w budynkach, w których mieszczą się laboratoria. Nie bez znaczenia jest również koszt platformy, łatwość jej eksploatacji oraz dostępność na polskim rynku.

Doświadczenia zespołu w projektowaniu, budowie i eksploatacji różnego typu platform mobilnych [1–8] pozwoliły na określenie optymalnych parametrów technicznych robota mobilnego RoMegAT, opracowanego przez Materials Engineers Group. Unikalna konstrukcja robota pozwala na stosowanie go zarówno w warunkach terenowych, jak i w pomieszczeniach laboratoryjnych.

2. Budowa

Kryteriami przyjętymi podczas projektowania robota były:

- duża mobilność,
- modułowa budowa,
- możliwość pokonywania przeszkód o wysokości do 10 cm,
- zwarta i solidna konstrukcja mechaniczna,

- wymiary pozwalające na poruszanie się w pomieszczeniach zamkniętych i przejeżdżania przez standardowe drzwi (80 cm),
- napęd na cztery koła z opcją zmiany układu jezdnego na trójkołowy,
- długi czas pracy,
- łatwy dostęp do komputera pokładowego,
- system uniwersalnych szyn do mocowania dodatkowego wyposażenia.



RoMegAT

Rys. 1. Robot RoMegAT z dodatkowym wyposażeniem sensorycznym

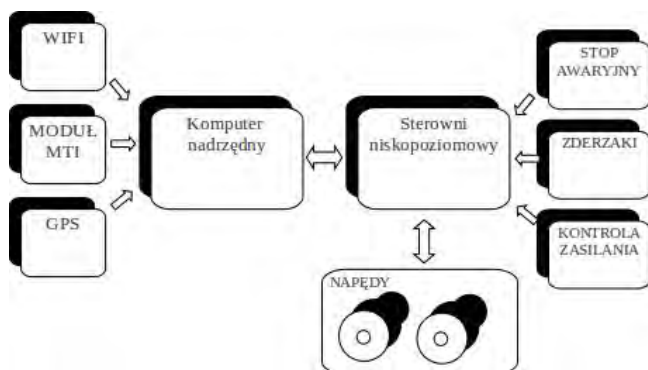
Fig. 1. RoMegAT with additional sensors

Robot mobilny RoMegAT jest czterokołową platformą mobilną przystosowaną do poruszania się w pomieszczeniach zamkniętych i w terenie (rys. 1). Pojazd ma wymiary 78 × 70 × 78 cm. Napęd stanowią dwa silniki prądu stałego o napięciu znamionowym 24 V, napędzające wszystkie cztery koła. Manewrowanie robotem odbywa się przez różnicowanie prędkości kół lewych i prawych. W przypadku gdy robot ma za zadanie poruszać się w pomieszczeniach zamkniętych o gładkich podłożach, układ umożliwia modyfikację napędu do układu trójkołowego przez demontaż

tylnych kół i instalację koła wleczonego w przewidzianym do tego celu gnieździe.

Budowa robota jest modułowa (rys. 2, 3). Konstrukcja modułu jezdnego składa się z aluminiowej ramy wykonanej z profili pokrytych lekkim poszyciem, wykonanym z aluminium lub kompozytu węglowego. Taka konstrukcja zapewnia dużą wytrzymałość i małą masę. Dwa silniki napędowe umieszczone są wewnątrz kadłuba i sztywno przymocowane do ramy. Robot nie posiada podatnego zawieszenia. Piasty kół pozwalają przenosić duże obciążenia i opcjonalnie mogą być uszczelnione. W robocie zastosowano koła pneumatyczne o średnicy 35 cm, dzięki czemu prześwit pod spodem robota wynosi ponad 10 cm. Zastosowany układ napędowy pozwala na pokonywanie podjazdów do 15°.

We wnętrzu modułu jezdnego znajdują się akumulatory, przetwornice DC-DC oraz sterownik mikroprocesorowy napędów. W celu utrzymania odpowiedniej temperatury układów mocy oraz napędów, w tylnej części modułu znajduje się układ chłodzenia.



Rys. 2. Struktura modułów RoMegAT
Fig. 2. RoMegAT modules structure

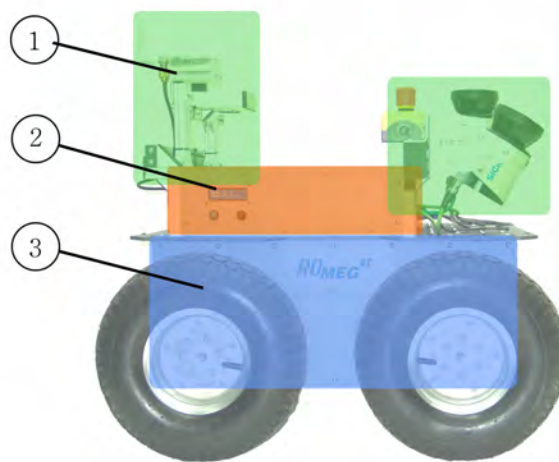
Nad platformą mobilną znajduje się moduł sterujący. Jego konstrukcja została wykonana, podobnie jak w module napędowym, z aluminiowej ramy pokrytej panelami. W module znajdują się:

- komputer pokładowy,
- układy komunikacyjne,
- układy sieciowe,
- przyłącza elektryczne dla systemów sensorycznych.

Przestrzeń wewnątrz modułu pozwala na instalowanie dodatkowych interfejsów komunikacyjnych i sensorycznych. W tylnej części robota umieszczono panel sterowania umożliwiający załączanie robota i jego podzespołów oraz przyłącza umożliwiające podłączanie zewnętrznego wyposażenia. Górna część modułu została wyposażona w szyny przeznaczone do przyłączania np. dodatkowych sensorów. Z przodu zainstalowano wzmocnioną belkę przystosowaną do montażu cięższych sensorów, takich jak skanery laserowe lub systemy wizyjne. W tylnej części przewidziano miejsce na szynę do mocowania anten, lamp sygnalizacyjnych innego wyposażenia. Na relingach dachowych możliwe jest mocowanie elementów o masie nie przekraczającej 15 kg.

Robot zasilany jest napięciem 24 V pochodzącym z akumulatorów umieszczonych w kadłubie. Akumulatory ładowane są przez dołączoną ładowarkę zewnętrzną. Instalacja

elektryczna robota umożliwia również pracę układu sterowania i sensorycznego z zewnętrznego źródła zasilania. Instalacja elektryczna pojazdu pozwala na podłączanie urządzeń wymagających stabilizowanych napięć: 5 V, 12 V i 24 V. W przypadku rozładowania akumulatorów lub po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury robot zostaje automatycznie wyłączony.



Rys. 3. Poszczególne moduły robota: 1 – wyposażenie sensoryczne i komunikacyjne, 2 – moduł sterujący, 3 – moduł jezdny

Fig. 3. RoMegAT modules: 1 – sensor and communication equipment, 2 – control module, 3 – drive module

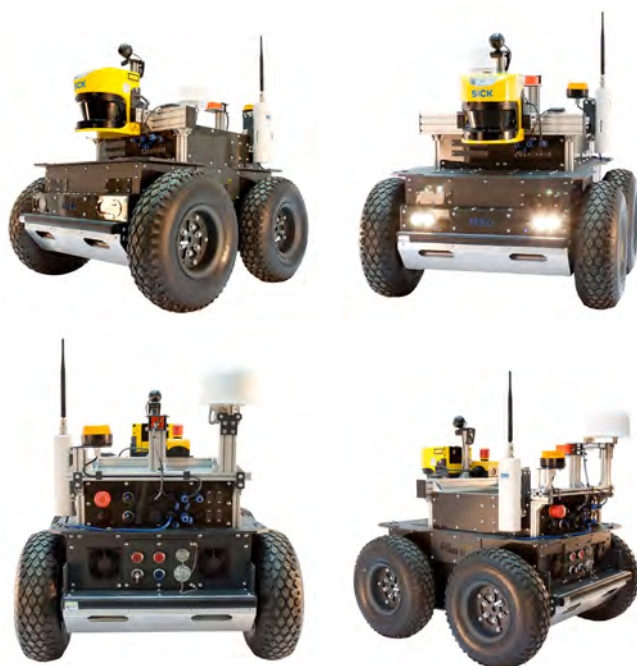
3. Sterowanie

Układ sterowania składa się z podstawowych modułów: niskopoziomowego sterownika obsługującego napędy, układu zasilania, zewnętrznego pulpitu, zderzaków i przycisków stopu awaryjnego oraz komputera klasy PC, pełniącego funkcję jednostki nadrzędnej. Niskopoziomowy sterownik może komunikować się z komputerem oraz zewnętrznym pulpitem. Sterowanie z pulpitu zewnętrznego umożliwia ręczne kierowanie robotem za pomocą ręcznego manipulatora. Funkcja ta jest przewidziana podczas parkowania robota lub konieczności ręcznego przestawiania. Dodatkową funkcją sterownia jest monitorowanie stanu naładowania akumulatorów oraz temperatury wewnątrz pojazdu.

Ręczny sterownik został wyposażony w wyświetlacz, na którym prezentowane są informacje dotyczące aktualnego stanu układu zasilania oraz napędów. Sterownik może być połączony z robotem za pośrednictwem przewodu i radiowego modułu bezprzewodowego.

Zastosowaną jednostką nadrzędną jest przemysłowy komputer typu wbudowanego. Jego konstrukcja nie ma wentylatorów ani innych ruchomych części. Model komputera dedykowany jest dla pojazdów mobilnych. Komputer komunikuje się ze sterownikiem nadrzędnym robota przez magistrale RS-485 oraz dedykowany protokół transmisji.

Robot standardowo wyposażony jest w zainstalowane z przodu i z tyłu aktywne zderzaki. W przypadku nawet lekkiego kontaktu z przeszkodą (kolizji) układ napędowy robota zostaje automatycznie wyłączony. Ze względów bezpieczeństwa na robocie zainstalowano dwa przemysłowe przyciski stopu awaryjnego. Przycisk awaryjnego zatrzy-



Rys. 4. Konstrukcja robota RoMegAT
Fig. 4. RoMegAT robot design

mania znajduje się również na ręcznym sterowniku. System bezpieczeństwa może być również podłączony do przemysłowych sensorów (np. skanera laserowego ze zdefiniowanymi strefami bezpieczeństwa), które zatrzymają platformę awaryjnie, gdy przeszkoda nie zostanie zauważona przez system wysokopoziomowy i znajdzie się ryzykownie blisko robota.

Opcjonalnym wyposażeniem sensorycznym jest moduł nawigacji inercyjnej, moduł odbiornika GPS oraz inne moduły nawigacyjne konfigurowane zgodnie z życzeniem użytkownika. Przednia listwa mocująca umożliwi instalację 1–3 skanerów laserowych SICK LMS 100 lub 1–2 skanerów SICK LMS-200. Opracowane wsporniki pozwalają płynnie ustawiać skanery pod dowolnym kątem z zakresu $-10^{\circ} + 40^{\circ}$. Uniwersalne mocowania umożliwiają montaż innych sensorów łącznie z systemami wizyjnymi. Podłączenie elementów sensorycznych do robota umożliwiają gniazda zasilające i sygnałowe w przednim panelu modułu sterującego (rys. 3).

Standardowo robot wyposażony jest w komputer bez zainstalowanego systemu operacyjnego. Występują dwie możliwe opcje dodatkowego oprogramowania:

- z systemem Microsoft Windows (wersja XP, XPe lub 7),
- z systemem Linux.

W przypadku systemu Windows, dla użytkownika przygotowany jest interfejs API (biblioteka C#), który umożliwia:

- sterowanie prędkością liniową i kątową robota,
- sterowanie prędkościowe silników,
- sterowanie momentowe silników,
- zadawanie dystansu przejazdu i kąta obrotu (na podstawie odometrii),
- włączanie i wyłączanie opcjonalnego interfejsu wejść/wyjść cyfrowych,

- odczytywanie parametrów układu zasilania: napięcia akumulatorów,
- odczytywanie parametrów układu napędowego: prądu pobieranego przez każdy silnik, temperatury końcówek stopni mocy,
- odczytywanie aktualnego stanu globalnego licznika impulsów enkoderów,
- wybór trybu pracy robota.

Interfejs jest przygotowany w sposób ułatwiający integrację ze znanymi środowiskami programowania robotów.

Dostępny jest również przykładowy program sterujący (bazujący na platformie Microsoft .Net Framework 3.5), który wykorzystuje udostępniony interfejs. Pozwala on na bezprzewodowe sterowanie ruchem robota przez sieć WiFi (lub połączenie Ethernet). System ten składa się z dwóch aplikacji – serwera, instalowanego na komputerze pokładowym, oraz klienta, instalowanego na dowolnym komputerze zdalnym. Wymagane jest połączenie z siecią bezprzewodową (np. poprzez router). System jest zabezpieczony przed błędami sterowania wynikającymi z zakłóceń oraz przed utratą kontroli w przypadku fizycznego zerwania połączenia. Program ma wbudowaną obsługę obrazu z kamer montowanych na robocie, co ułatwia zdalne sterowanie robotem. Sterowanie odbywa się za pomocą wydawanych komend lub z użyciem dowolnego joystick'a, podłączonego do portu USB komputera zdalnego. Na bazie przykładowego programu użytkownik może budować własne aplikacje.

W przypadku systemu Linux dla użytkownika przygotowany jest analogiczny interfejs API (biblioteka C++). Dodatkowo, z uwagi na bardzo dużą popularność środowiska programowania robotów ROS, udostępniony jest sterownik (pakiet) RoMegAT. Podobnie jak w przypadku systemu Windows – dostępny jest przykładowy program sterujący ruchem robota poprzez połączenie bezprzewodowe sieci WiFi, stworzony na bazie środowiska ROS. Dodatkowo, dzięki otwartości i licznym pakietom ROS, możliwa jest szybka i prosta implementacja bardzo wielu pakietów wykorzystujących wbudowaną i opcjonalną sensorykę robota oraz moduły (np. nawigacji).

4. Podsumowanie

Obecnie wykorzystywane są dwa roboty typu RoMegAT w dwóch wariantach. W pierwszym wariantcie robot został wyposażony w trzy skanery laserowe, moduł nawigacji inercyjnej IMU XSensMTi oraz kamerę Kinect. W drugim wariantcie zastosowano jedynie skaner laserowy, moduł nawigacji inercyjnej XSens MTi-G oraz system wizyjny. W drugim robocie poszycie zostało wykonane z włókna węglowego, a w przedniej części zainstalowano sterowane oświetlenie, umożliwiające zdalne sterowanie robotem przy ograniczonych warunkach oświetleniowych. Robot jest aktualnie wykorzystywany w projekcie naukowym związanym z autonomiczną nawigacją.

Testy laboratoryjne i terenowe wykazały słuszność przyjętych założeń i poprawność działania wszystkich elementów mechanicznych i elektronicznych. W wariantcie 4×4 robot bez problemu pokonywał przeszkody w postaci krawężników lub pojazdów do 15° . W przypadku testów laboratoryjnych sprawdzano wariant czterośladowy i wariant trójśladowy.

W przypadku stosowania napędu na wszystkie koła robot poruszał się sprawnie po gładkich powierzchniach. W przypadku jazdy po wykładzinach i dywanach występowały problemy z ich marszczeniem się i możliwością uszkodzenia przez koła robota. Stosowanie napędu trójkołowego (modyfikacja trwa ok. 10 min.) niweluje opisywany problem. Dodatkową zaletą wariantu trójkołowego jest dłuższa praca robota bez konieczności doładowywania, wynikająca ze zmniejszonego zapotrzebowania na prąd podczas manewrowania. Uniwersalność, wszechstronność i otwarta struktura opisywanego rozwiązania sprawia, że opisywane roboty typu RoMegAT mogą być ciekawą ofertą dla ośrodków badawczych oraz uczelni.

Bibliografia

1. Chojecki R.: *Minirobot mobilny NAVIGATOR 1*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 7/2003.
2. Chojecki R., Bartyś M., Olszewski M.: *Miniature Mobile Robots*, „Elektronika”, 35/2004, 8–9.
3. Chojecki R., Olszewski M., Pietrzak T., Fryc P., Wałęcki M.: *Budowa inspekcyjnego robota mobilnego Warrior 1*, [in:] Tchoń K. (red.): *Progress in Robotics*, 2008.
4. Chojecki R. Olszewski M.: *A Mobile Robot for Laboratory Purposes and Its Applications*, „Pomiary Automatyka Kontrola”, 55/2009.
5. Chojecki R., Jankun F., Dębski K., Fryc P., Pietrzak T., Wałęcki M.: *Inspekcyjny robot mobilny Warrior I*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 1/2010.
6. Chojecki R., Jankun F., Dębski K., Olszewski M.: *Przystosowanie pojazdu terenowego typu ATV do zdalnego sterowania*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 11/2010.

All terrain mobile platform RoMegAT

Abstract: This paper describes research towards electric mobile platform in two variants: 4 x 4 or 2 x 3. This class of robots could be used in autonomous patrolling applications, remote visual inspection of industrial areas, helping rescue or anti-terrorists groups. Described mobile platform is designed for indoor and outdoor environment. Unique construction enables traversing terrain obstacles.

Keywords: mobile robotics, ATV

mgr inż. Rafał Chojecki

Absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Współpracownik firmy Materials Engineers Group Sp. z o.o. w dziale B+R. Główną dziedziną pracy autora jest projektowanie konstrukcji oraz systemów zrobotyzowanych.

e-mail: r.chojecki@megroup.pl



dr inż. Jakub Michalski

Kierownik od spraw B+R w firmie Materials Engineers Group Sp. z o.o. Absolwent Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej. Pracę doktorską z dziedziny inżynierii materiałowej obronił w tej samej jednostce. Główne zainteresowania to implementacja innowacyjnych rozwiązań z dziedziny inżynierii materiałowej oraz badania materiałów do praktyki przemysłowej, automatyzacja technik badawczych.

e-mail: j.michalski@megroup.pl



mgr inż. Michał Wałęcki

Absolwent Wydziału Elektroniki i Techniki Informatycznych Politechniki Warszawskiej. Współpracownik firmy Materials Engineers Group Sp. z o.o. w dziale B+R. Główną dziedziną pracy autora jest projektowanie układów elektronicznych oraz systemów sterowania.

e-mail: m.walecki@megroup.pl



mgr inż. Mateusz Wiśniowski

Absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Współpracownik firmy Materials Engineers Group Sp. z o.o. w dziale B+R. Główną dziedziną pracy autora jest projektowanie oprogramowania oraz systemów nawigacji i autonomicznego sterowania.

e-mail: m.wisniowski@megroup.pl

