



## Przeciwminowe roboty — pojazdy kroczące

MAREK JANKIEWICZ

Akademia Marynarki Wojennej, Zakład Broni Podwodnych,  
81-103 Gdynia, ul. J. Śmidowicza 69

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono nową klasę autonomicznych maszyn-robotów przeciwminowych, przeznaczonych do prowadzenia działań na lądzie, w strefie litoralnej oraz na wodach bardzo płytkich i płytkich (ang. VSW — *Very Shallow Water*, SW — *Shallow Water*). Zaprezentowano opracowane w USA konstrukcje biomimetycznych robotów kroczących, wzorowanych na budowie oraz cechach zachowań żywych organizmów, w ramach programów BURP (Biomimetic Underwater Robot Program) oraz BIODYNOTICS (The Biologically Inspired Multifunctional Dynamic Robotics). Omówiono przeznaczenie, budowę oraz sposoby zwalczania zagrożenia minowego prowadzone przez autonomiczne, kroczące pojazdy podwodne (ALUV's — *Autonomous Legged Underwater Vehicles*).

**Słowa kluczowe:** biomimetyka, robot kroczący, pojazd podwodny, działania przeciwminowe

**Symbole UKD:** 681.5

### 1. Wstęp

W robotyce od dawna podpatrywano rozwiązania występujące w naturze, jednocześnie starając się zaadaptować je do potrzeb praktycznych zastosowań. Aktualny poziom wiedzy w tej dziedzinie oraz możliwości techniczne pozwalają na prowadzenie coraz bardziej zaawansowanych prac badawczych. Projektanci robotów coraz szerzej korzystają z wzorców przyrody ożywionej, gdzie posiadanie odpowiednich receptorów (czujników) i umiejętność właściwego reagowania na bodźce umożliwia przetrwanie oraz działanie prowadzące do osiągnięcia celu. Inteligencja robotów — autonomia działania, a więc zdolność adaptacji do zmian, do radzenia sobie w nieprzewidywalnych sytuacjach jest coraz większa [6, 7].

Współczesne możliwości technologiczne, wzrost mocy obliczeniowej komputerów, ich miniaturyzacja oraz powstanie nowych, coraz lepszych typów czujników,

nieprzerwanie stymulują badania nad innowacyjnymi konstrukcjami robotów, w tym nad maszynami kroczącymi.

Roboty kroczące (maszyny kroczące) są programowalnymi urządzeniami technicznymi wykonującymi funkcje lokomocyjne i manipulacyjne, charakteryzującymi się pewną inteligencją, tzn. autonomią działania. Wykorzystują informacje pochodzące z ich czujników zarówno do przemieszczania się, jak i realizacji postawionego zadania [6, 7].

Urządzenia te poruszają się podobnie jak większość zwierząt, używając kończyn. Jedynym sposobem lokomocji maszyn kroczących jest chód, wyróżniający je spośród innych robotów. Kontakt maszyny z podłożem ograniczony jest do szeregu odseparowanych śladów. Nie jest to zatem ścieżka ciągła jak w przypadku robotów mobilnych poruszających się na kołach czy gąsienicach [7].

Można zauważyć analogie do specyfiki ruchu organizmów żywych, które chodzą nie dlatego, iż potrafią obliczyć wartość sygnałową sterujących ruchem grup mięśniowych, lecz dlatego, że mając odpowiednie receptory, odbierają informacje i wiedzą, co należy robić i jak korygować posturę, aby ruch był realizowany (np. utrzymywanie równowagi, stawianie stopy w takim miejscu i w takiej chwili, aby się nie przewrócić). Maszyny sterowane w ten sposób chodzą, a ich ruch przypomina ruch zwierząt, od których zapożyczyły swoje nazwy [7].

Prace nad takimi maszynami, w większości miniaturowymi demonstratorami technologii, prowadzone są w wielu krajach, w tym również w Polsce [1]. Najbardziej zaawansowane badania w tej dziedzinie prowadzone są jednak w USA m.in. przez Agencję Zaawansowanych Projektów Badawczych Departamentu Obrony — DARPA, Biuro Badawcze Marynarki Wojennej — ONR, Narodową Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej — NASA czy Massa Products Corporation.

Realizowane przez Biuro Naukowe Departamentu Obrony — DARPA DSO prace w ramach programu BIODYNOTICS dotyczą przydatności i adaptacji takich urządzeń na współczesnym polu walki. Wieloletnie badania naukowców z różnych dziedzin, doprowadziły do opracowania koncepcji autonomicznych robotów-pojazdów przeciwminowych o zupełnie nowych cechach, mogących zapewnić skuteczne działanie tam, gdzie dotychczasowe, klasyczne konstrukcje pojazdów przeciwminowych okazały się prawie całkowicie nieprzydatne [3].

Chcąc umieścić sztuczny obiekt w naturalnym środowisku żywych organizmów, wzorowano się na gotowych przykładach, dążąc do perfekcyjnej ich emulacji. Przeciwminowy robot-pojazd kroczący wiernie imituje zatem kształty, morfologię oraz wzory zachowań mieszkańców środowiska, w którym realizuje zadania związane z nawigacją, poszukiwaniem oraz zwalczaniem wykrytych obiektów. Budowa robotów opiera się na podobnej modułowej architekturze podsystemów kontrolnych, czujników oraz organów wykonawczych. Odpowiednikiem prostego układu nerwowego żywych organizmów stały się złożone systemy sieci neuronowych

robotu, układu motorycznego, wielocłonowe sztuczne odnóża kroczone, narządów zmysłów, sensory mikroelektroniczne.

Autonomiczny robot-pojazd kroczący poszukujący min zachowuje się analogicznie jak krab, homar czy skorpion poszukujący pożywienia [3].

## 2. Robo-krab

Autonomiczny kroczący pojazd podwodny (*Autonomous Legged Underwater Vehicle* — ALUV) „ARIEL” jest pierwszą kroczącą platformą zdolną do przemieszczania się i zwalczania min oraz przeszkód, zarówno na lądzie, jak i w środowisku wodnym (rys. 1).



Rys. 1. Autonomiczny kroczący pojazd podwodny Robo-krab.

Źródło: <http://www.spawar.navy.mil/sti/publications/pubs/tr/1869/tr1869.pdf> 09.11.2006

Za źródło biologicznej inspiracji posłużyła budowa oraz cechy zachowań kraba, stawonoga z grupy skorupiaków, z rzędu dziesięcionogów. „Ariel” przeznaczony jest do poszukiwania i niszczenia min przeciwdesantowych oraz dennych w strefie plaży, strefie przybrzeżnej, a także na wodach bardzo płytkich do głębokości 12 m [14].

Robo-krab posiada opływowy, hydrodynamiczny kształt korpusu (części głównej) oraz sześć odnóży kroczone, o dwóch aktywnych stopniach swobody każde, zapewniających mu sprawne poruszanie się po dnie morskim. Odnóża umożliwiają również wibracyjne zagłębianie się robota w podłożu przy dużych turbulencjach wody. Dzięki temu pojazd skutecznie zachowuje stabilność podczas uderzania fal w rwącej i burzliwej strefie płytkowodnej [13, 14].

Wewnątrz wodoszczelnego korpusu robota, zespolonego ze szkieletową konstrukcją z anodyzowanego aluminium, umieszczono szereg podsystemów i sensorów mikroelektronicznych. Robo-krab posiada m.in. sensory położenia silnika, kontaktu odnóży z podłożem, pomiaru ciśnienia (do określenia głębokości działania robota) oraz przepływu (pod wodą) i detektor metalu przeznaczony do poszukiwania min. Dzięki adaptacyjnemu oprogramowaniu (*self-adaptable software* — SAS), w przypadku uszkodzenia jednego z odnóży, następuje jego modyfikacja zapewniająca możliwość dalszego przemieszczania się robota na pozostałych pięciu sprawnych odnóżach [13]. Robot wyposażony jest również w kompas oraz inklinometr (czujnik przechyłów wzdłużnych i poprzecznych), które ze względu na generowane przez silnik pojazdu pole magnetyczne, umieszczono na specjalnych ramionach wystających po obu stronach robota, w odległości zapewniającej niezakłóconą pracę sensorów (rys. 2).



Rys. 2. Robo-krab podczas działań przeciwminowych (widoczne: korpus, odnóża kroczone, rozłożone ramiona z kompasem i inklinometrem, cylindryczne ogniwa zasilające).

Źródło: <http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2002/09/rfull/robots.html>

09.11.2006

„Ariel” ma stosunkowo małą masę oraz gabaryty — masa 11 kg (w tym 3 kg balastu), długość 0,55 m (1,15 m — łącznie z rozłożonymi ramionami z kompasem i inklinometrem), wysokość 0,09 m (0,15 m — gdy stoi na odnóżach) — w porównaniu z tradycyjnymi konstrukcjami przeciwminowych pojazdów podwodnych [5, 10]. Umożliwia mu to sprawne poruszanie się w trudnym, zróżnicowanym środowisku strefy przybrzeżnej. Dzięki swojej konstrukcji robo-krab porusza się chodem stabilnym statycznie, podobnie jak roboty przedstawione w dalszej części

artykułu. W chodzie tym rzut pionowy środka ciężkości robota znajduje się zawsze we wnętrzu wielokąta podparcia, tzn. we wnętrzu wielokąta rozpiętego na punktach śladowych nóg (miejsca styku nóg z podłożem) [7]. Robo-krab porusza się w sposób wolny, miarowy, w kierunku poprzecznym do osi korpusu, posiada przy tym umiejętność omijania lub w razie konieczności wdrapywania się i przechodzenia przez niewielkie przeszkody czy szczeliny.

„Ariel” jest pojazdem całkowicie odwracalnym (obustronnym). W przypadku przewrócenia robo-kraba przez fałę na grzbiet, w prosty sposób dokonuje on reorientacji (odwrócenia odnóży), kontynuując prowadzenie działań grzbietem skierowanym w stronę dna [5, 10].

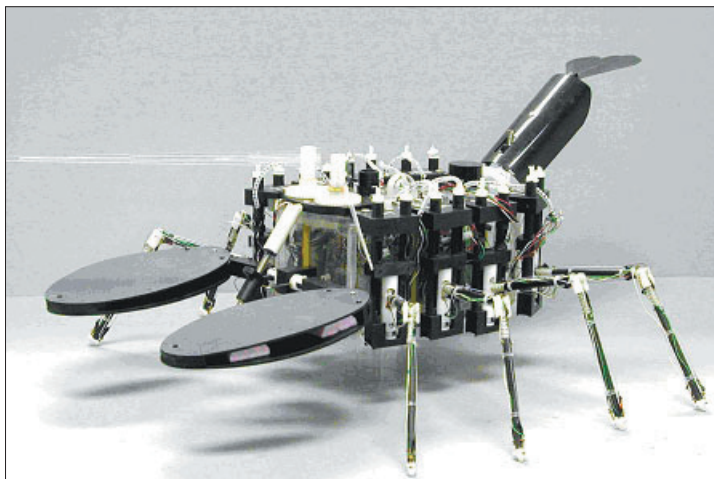
Pojazd zasilany jest przez 22 niklowo-kadmowe (NiCd) cylindryczne ogniwa, utrzymujące napięcie na tym samym poziomie, aż do całkowitego rozładowania. Charakteryzują się one dobrą wydajnością w zastosowaniach wymagających niskich temperatur, stosunkowo długą żywotnością oraz czasem samorozładowania, zapewniają prowadzenie działań i niezakłóconą pracę przed ok. godzinę. Istnieje również opcjonalna możliwość zewnętrznego zasilania pojazdu, np. podczas ładowania akumulatorów [5, 10].

W trakcie prowadzenia działań przeciwminowych pojazd manewruje pojedynczo lub współpracuje w grupach, których liczebność uzależniona jest od wielkości rejonu przeznaczanego do oczyszczenia z min. Robo-kraby mają wtedy możliwość komunikowania się między sobą, co pozwala na gruntowne i dokładne przeszukanie rejonu działań. W przypadku wykrycia, zlokalizowania miny, pojazd zajmuje pozycję obok niej. Po wykryciu min przez każdy z robo-krabów, operator systemu, monitorujący ich pracę na okrętowym stanowisku dowodzenia, przesyła sygnał sterujący, detonujący równocześnie wszystkie pojazdy. Wytworzona podczas detonacji energia zostaje przeniesiona na ładunki wybuchowe wykrytych min, powodując ich zniszczenie, oczyszczając w ten sposób rejon niebezpieczny z min. Istnieje również możliwość użycia modyfikowanych wersji robo-kraba, przeznaczonych do umieszczania ładunków wybuchowych w miejscu o z góry ustalonej lokalizacji, a następnie przemieszczania się pojazdów w bezpieczny rejon przed detonacją, skąd są wydobywane z wody w celu ponownego ich wykorzystania [20].

### 3. Robo-homar

Biomimetyczny robot podwodny BUR-001 (*Biomimetic Underwater Robot*) jest kolejnym przykładem autonomicznego kroczącego pojazdu podwodnego (*Autonomous Legged Underwater Vehicle* — ALUV) (rys. 3). Za źródło biologicznej inspiracji tej konstrukcji posłużyły w tym przypadku budowa oraz cechy zachowań homara amerykańskiego, kolejnego stawonoga z grupy skorupiaków, z rzędu dziesięcionogów [16, 18].





Rys. 3. Autonomiczny kroczący pojazd podwodny Robo-homar (widoczne: korpus, odnóża kroczone, „szczypce” — sonary poszukujące, „wąsy” — anteny czujników olfaktometrycznych, „ogon” — element stabilizujący).

Źródło: <http://www.neurotechnology.neu.edu/cheesecake.html> 09.11.2006

Robo-homar (ang. *Robo-Lobster*) przeznaczony jest do prowadzenia działań przeciwminowych zarówno na lądzie, jak i w środowisku wodnym. Posiada możliwość prowadzenia poszukiwania oraz niszczenia min przeciwdesantowych oraz dennych w strefie plaży, strefie przybrzeżnej oraz na wodach płytkich, do głębokości 50 m [18].

Specjalnie zaprojektowany opływowy, hydrodynamiczny kształt korpusu, „szczypce”, „ogon” oraz osiem odnóży kroczone, o trzech aktywnych stopniach swobody każde, zapewniają sprawne poruszanie się robota w środowisku wodnym (rys. 3). Trzy stopnie swobody nie ograniczają możliwości ruchowych kończyn, wystarczają na osiągnięcie każdego punktu w przestrzeni roboczej [7]. Sterowane hydrodynamiczne powierzchnie szczypców i ogona oraz możliwość wibracyjnego zagłębiania się robota w podłożu zapewniają z kolei skuteczne zachowanie stabilności pojazdu przy dużych turbulencjach wody oraz uderzeniach fal w rwącej i burzliwej strefie płytkowodnej [15, 17].

Wewnątrz wodoszczelnego korpusu robo-homara umieszczono podsystemy, procesory oraz sensory mikroelektroniczne. Robot wyposażony jest m.in. w kompas, sonary poszukujące, czujniki przechyłów wzdłużnych i poprzecznych, kontaktu odnóży z podłożem, zapewniających utrzymanie stabilności oraz prawidłowe położenie robota poruszającego się po dnie. Umiejętność przemieszczania możliwa jest dzięki zastosowaniu specjalnych siłowników oraz połączonych z kończynami robo-homara „mięśni” — przewodów z nitinolu (stop niklu i tytanu NiTi; skład

45÷51% Ni), stopu z pamięcią kształtu (*shape memory alloy* — SMA). Podczas przepływu prądu elektrycznego przez przewody następuje ich kurczenie. Przerwanie dopływu prądu oraz schładzanie w toni wodnej zapewnia im po odkształceniu szybki powrót do pierwotnej formy [12, 15, 17].

Umieszczone w górnej, przedniej części korpusu dwie anteny przeznaczone są do poszukiwania oraz identyfikacji wykrytych przez pojazd obiektów minopodobnych. Są one zakończone szeregiem mikroskopijnych włosków, z których każdy pokryty jest „komórkami nerwowymi”, receptorami reagującymi na cząsteczki zapachowe (czujniki olfaktometryczne) występujące w otaczającej pojazd toni wodnej.

Miny morskie oraz niewybuchy podwodne zawierające ładunek materiału wybuchowego są bowiem potencjalnym źródłem pola chemicznego (charakterystyki chemicznej) w wodzie, które może zostać wykorzystane do stwierdzenia obecności i określenia tychże obiektów [2]. Podczas prowadzenia działań przeciwminowych anteny robota poruszają się, penetrując przestrzeń przed pojazdem, analizując zarejestrowane anomalie chemiczne wywołane przez obecność sztucznych, niebezpiecznych obiektów w naturalnym środowisku wodnym (rys. 4).



Rys. 4. Robo-homar manewrujący po dnie podczas działań przeciwminowych.

Źródło: [http://www.onr.navy.mil/media/images/gallery/hires/robots/robo\\_lobster\\_water.jpg](http://www.onr.navy.mil/media/images/gallery/hires/robots/robo_lobster_water.jpg)

09.11.2006

W celu zminimalizowania możliwości uszkodzenia anten, „narządu zmysłu” robo-homara, podczas działań w strefie plaż, pojazd odchyła je w skrajne tylne położenie, prowadząc poszukiwanie min przy wykorzystaniu detektora metalu.

Robo-homar ma stosunkowo małą masę oraz gabaryty — masa ok. 4 kg, długość całkowita ok. 0,6 m (w tym: korpus 0,2 m, szczypce 0,2 m, ogon 0,2 m), szerokość

całkowita ok. 0,41 m (w tym korpus: 0,13 m), wysokość 0,13÷0,25 m w porównaniu z tradycyjnymi konstrukcjami przeciwminowych pojazdów podwodnych [19]. Dzięki swojej konstrukcji robot ma możliwość sprawnego poruszania się w trudnym, zróżnicowanym środowisku strefy przybrzeżnej; posiada przy tym umiejętność obejścia (omijania) skał, kamieni, szczelin czy wodorostów, a w razie konieczności zdolność wdrapywania się i przechodzenia przez niewielkie przeszkody.

Robo-homar jest samosterującym pojazdem o obojętnej (neutralnej) pływerności, mającym możliwość poruszania się z różną prędkością zarówno do przodu, jak i do tyłu. Oczekiwana prędkość robota wynosi ok. 0,1 m/s (0,2 węzła), jednak w chwili obecnej jest ona niestety o połowę niższa [19].

Zasięg działań przeciwminowych robo-homara (700÷1400 m) oraz czas trwania pojedynczej misji (ok. 1 godziny) uzależnione są m.in. od warunków hydrologicznych, takich jak temperatura otaczającej wody (temperatura właściwej pracy 15÷25°C), stan morza, czy prędkość prądów wodnych (prędkość max. ok. 1 m/s — 2 węzły) [19]. Ograniczone są również przez zastosowane niklowo-metaliczno-wodorowe (NiMH) ładowane ogniwa zasilające, których parametry zależą od temperatury otoczenia. Dlatego bezwzględnie powinna być przestrzegana znamionowa temperatura ich pracy. W przyszłości przewiduje się jednak zastąpienie ich przez litowo-jonowo-polimerowe (Li-Ion/Pol) ogniwa o zaawansowanej konstrukcji (z możliwością doładowywania nawet gdy poziom energii nie spadł jeszcze do niebezpiecznie niskiego poziomu), zapewniające trzykrotnie dłuższy czas działań przeciwminowych robota. Dodatkowo istnieje również opcjonalna możliwość zewnętrznego zasilania pojazdu, np. podczas ładowania akumulatorów.

Pojazdy dostarczane są do rejonu działań przeciwminowych dzięki skrytemu systemowi torpedowemu lub przez małe jednostki pływające. Podczas prowadzenia poszukiwania min przeciwdesantowych, dennych oraz zagłębiających się w osadach dna morskiego manewrują w grupach i mają możliwość komunikowania się między sobą.

W wyznaczonych rejonach poszukiwania o znanych, określonych współrzędnych, manewrują, prowadząc nawigację w oparciu o system transponderów akustycznych (odzewowych urządzeń hydrolokacyjnych), umożliwiając również określenie położenia (pozycji) wykrytych obiektów minopodobnych. Pas działania pojazdów wyznaczony jest przez linie pław hydroakustycznych, postawionych prostopadle do linii brzegowej w odległości ok. 500 m od siebie, natomiast odległości pomiędzy pławami w linii wynoszą ok. 200 m [17, 18].

Podczas prowadzenia rozpoznania pojazdy manewrują wokół wykrytych obiektów, maksymalizując prawdopodobieństwo zderzenia, jednocześnie utrzymując z nimi stały kontakt sonarowy. W przypadku wykrycia obiektu minopodobnego, robot aktywuje sensory mające za zadanie dokonanie identyfikacji obiektu. Natomiast zintegrowany z pojazdami system transponderów akustycznych zapewnia ciągłą komunikację z wystawionym systemem pław hydroakustycznych, co umożliwia



przekazywanie danych o wykryciu obiektów minopodobnych w celu określenia w ten sposób ich lokalizacji (położenia). Po zakończeniu procesu poszukiwania odpowiednia pława akustyczna wysyła sygnał wyznaczający miejsce zbiórki oraz oczekiwania na wydobywanie pojazdów z wody [18].

#### 4. Robo-skorpion

Robo-Skorpion jest następnym przykładem autonomicznej, wielofunkcyjnej platformy kroczącej (*Autonomous Legged Vehicle* — ALV) (rys. 5). Za źródło biologicznej inspiracji tej konstrukcji posłużyły tym razem budowa oraz cechy zachowań skorpiona, jednego z najstarszych stawonogów lądowych, z rzędu pajęczaków.



Rys. 5. Autonomiczny kroczący pojazd Robo-skorpion.

Źródło: <http://www.ais.fraunhofer.de/~klaassen/papers/SIRS01.pdf> 09.11.2006

Pierwotna koncepcja konstruktorów zakładała zbudowanie kroczącego robota przeznaczonego do poszukiwania i zwalczania min lądowych. Jednak w trakcie prowadzonych prac badawczych, dzięki zaimplementowaniu wyszukanych sensorów, poszerzono zakres możliwości jego wykorzystania [5].

Robo-skorpion przeznaczony jest więc również do prac w otoczeniu niebezpiecznym i trudno dostępnym dla ludzi oraz pojazdów kołowych, podczas inspekcji kraterów aktywnych wulkanów, w elektrowniach atomowych czy też w trakcie akcji poszukiwawczych i ratunkowych w nierównym terenie (rumowiska, ruiny zawalonych budynków) [8].

Nieprzerwanie prowadzone są jednak badania nad możliwością wykorzystania robo-skorpiona nie tylko na lądzie ale także w środowisku wodnym. Obejmują one możliwości adaptacji robota do prowadzenia działań przeciwminowych w strefie plaży, strefie przybrzeżnej oraz na wodach bardzo płytkich (rys. 6). Zaawansowane są również prace nad wykorzystaniem robota w ekstremalnie nieprzyjaznym i nieprzewidywalnym środowisku podczas prowadzenia międzyplanetarnych misji kosmicznych (np. badanie powierzchni Marsa), co jest kolejnym potwierdzeniem szerokiego spektrum możliwości wykorzystania oraz wielofunkcyjności opracowanej konstrukcji [9].

Robo-skorpion posiada opływowy kształt korpusu oraz osiem odnóży kroczyńnych, o trzech aktywnych stopniach swobody każde, zapewniających mu sprawne poruszanie, zarówno po zróżnicowanej strukturze lądowej (skały, piasek, trawy), jak i po nieregularnie ukształtowanym dnie morskim strefy przybrzeżnej [8, 9]. Trzy stopnie swobody nie ograniczają możliwości ruchowych kończyn, wystarczają na osiągnięcie każdego punktu w przestrzeni roboczej. Stopy robota, połączone sprężystością z członami kończyn, zapewniają pasywną adaptację ich długości do małych nierówności terenu oraz absorpcję uderzenia [7].



Rys. 6. Robo-skorpion podczas działań przeciwminowych.

Źródło: <http://www.primidi.com/2004/10/11.html#a992> 09.11.2006

Robo-skorpion ma stosunkowo małą masę oraz gabaryty — masa ok. 12,5 kg, (w tym: akumulatory, wyposażenie komunikacyjne, sensory), długość całkowita ok. 0,65 m, szerokość całkowita  $0,2 \div 0,6$  m (0,4 m — przy typowej pozycji chodu w kształcie litery M), wysokość  $0,15 \div 0,35$  m (uzależniona od pozycji chodu), w porównaniu z tradycyjnymi konstrukcjami pojazdów przeciwminowych [8, 11].

System sterowania oraz kontroli robotem zbudowano w oparciu o istniejące modele biologiczne. Technologia oparta jest na centralnym generatorze obrazu wzorcowego sieci (CPG — *Central Pattern Generator*), który symuluje nerwowy oscylator zidentyfikowany u zwierząt oraz na odruchach, a więc na typowych, automatycznych reakcjach na bodźce zewnętrzne lub wewnętrzne [8, 9, 11]. Centralny generator rytmu stanowi zespół komórek nerwowych generujących rytmiczny wzorzec impulsów pobudzających mięśnie odpowiedzialne m.in. za lokomocję.

Robo-skorpion wyposażony został w szereg podsystemów, przetworników i ponad 50 sensorów mikroelektronicznych, prioreceptorów (receptorów — czujników — czuciowych monitorujących pozycję, ułożenie korpusu pojazdu w przestrzeni, pozycję „stawów”, „mięśni” i przebiegu samego ruchu) oraz eksteroreceptorów (receptorów — czujników — zewnętrznych służących do pobierania informacji o stanie otoczenia).

W celu orientacji i wykrywania przechyłów korpusu robota podczas działań w przestrzeni operacyjnej, zastosowano kompas (wyznaczanie i kontrola kursu) oraz inklinometri (czujniki przechyłów wzdłużnych i poprzecznych oraz odchyłeń od kursu), zapewniające utrzymanie stabilności oraz zachowanie prawidłowego położenia pojazdu poruszającego się w terenie.

Zastosowane w robocie czujniki na podcierwień oraz ultradźwiękowe czujniki odległości przeznaczone są natomiast do określania odległości do napotkanych obiektów oraz uchylania się od przeszkód. W celu monitorowania działań oraz telesterowania robotem, pojazd wyposażono w kolorową wideo kamerę CCD (PAL, stereo) generującą obrazy o wysokiej jakości i niskim szumie. Wykorzystywana jest ona głównie w trakcie prowadzonych inspekcji, podczas dokonywania klasyfikacji oraz identyfikacji wykrytych obiektów [8, 9].

Informacje z czujników sił umieszczonych u nasady stóp pojazdu służą do modyfikacji ruchu, aby minimalizować wydatki energetyczne oraz do modyfikacji pozycji korpusu i kończyn w celu uniknięcia przewrócenia się czy poślizgu [7]. Możliwość modyfikacji chodu robo-skorpiona zapewnia również utrzymanie stałej prędkości przemieszczania się pojazdu, niezależnie od rodzaju powierzchni gruntu (prędkość max. na płaskim terenie ok. 0,3 m/s — 0,6 węzła). Posiada on przy tym umiejętność obejścia (omijania) skał, kamieni, szczelin czy wodorostów, a w razie konieczności zdolność wdrapywania się i przechodzenia przez niewielkie przeszkody (nachylenie do 35%) [8].

Obecnie robo-skorpion zasilany jest przez 3Ah akumulatory [8], zaawansowane są jednak prace nad zasilaniem pojazdu energią słoneczną. Dzięki zastosowaniu wysokowydajnych ogniw słonecznych robot będzie miał możliwość nieograniczonej pracy. W przypadku gdy poziom naładowania akumulatorów będzie zbyt niski aby prowadzić działania, robot wyłączy wszystkie odbiorniki energii i doładuje akumulatory, po czym powróci do kontynuacji przerwanej misji. W założeniu ma posiadać zdolność przetrwania w świecie rzeczywistym dłużej niż wynosi żywotność jego akumulatorów [5].

Roboty napędzane są dzięki zastosowaniu standardowych silników obrotowych prądu stałego małej mocy (3 W, 24 V) [8], z przyłączonymi głowicami redukcyjnymi oraz enkoderami (czujnikami położenia kąтового) mierzącymi pozycje przegubów w każdym aktywnym stopniu swobody. Sygnał sterujący obliczany jest na podstawie błędu pomiędzy zmierzoną wartością położenia kąтового a wartością zadaną.

Robo-skorpion jest maszyną o dużych możliwościach lokomocyjnych. Ma możliwość przemieszczania się w każdym kierunku, zmiany postury i prędkości podczas ruchu. Umożliwia mu to płynne, sprawne poruszanie się w wyjątkowo trudnym, nierównym terenie, na wąskiej lub ograniczonej przestrzeni oraz w zróżnicowanym środowisku strefy przybrzeżnej.

W czasie chodu każda z kończyn, w odpowiedniej chwili, znajduje się ponad podłożem — jest przenoszona do przodu w stosunku do korpusu (tzw. faza przenoszenia — protrakcja). Kończyny dotykające terenu znajdują się w fazie podparcia (w retrakcji). W fazie podparcia kończyna pcha korpus do przodu, koniec kończyny przemieszcza się do tyłu względem korpusu [7].

Pokładowy system operacyjny czasu rzeczywistego z mechanizmami wielozadaniowymi oraz dedykowane, adaptacyjne oprogramowanie (*self-adaptable software* — SAS), zapewniają adaptację chodu robota do warunków otoczenia oraz zachowanie prawidłowej pozycji korpusu przy zmiennym profilu terenu.

Informacje z odpowiednich receptorów odnóży inicjują określone modyfikacje ruchu kończyny. Robo-skorpion posiada możliwość monitorowania błędu położenia w „stawie”. Jeśli w czasie ruchu odnóża do przodu w danym stopniu swobody wykryty zostanie duży błąd położenia, interpretowane jest to jako zablokowanie kończyny. Powoduje to wygenerowanie sygnału wzbudzającego ruch odnóża w tył i do góry. Sygnał ten jest aktywny przez krótki czas, a następnie układ generuje chód rytmiczny. W zależności od stanu ruchu danej kończyny wzbudzone lub wstrzymywane są określone położenia pozostałych kończyn. Ponadto podejmowana jest też decyzja o zmianie kierunku ruchu robota (czyli zmianie rodzaju chodu), jeżeli zostanie zablokowana za dużą liczbą kończyn [7]. W przypadku uszkodzenia jednego z odnóży, następuje modyfikacja oprogramowania zapewniająca możliwość dalszego przemieszczania się robota na pozostałych siedmiu sprawnych odnóżach [8].

## 5. Podsumowanie

Prowadzone programy badawcze, modernizujące uzbrojenie minowe oraz dynamiczny rozwój technologii min quasi-inteligentnych, determinuje konieczność wdrażania na uzbrojenie marynarek wojennych świata systemów przeciwminowych nowej generacji [4].

Widoczne jest coraz większe zainteresowanie konstruktorów autonomicznymi systemami do poszukiwania, klasyfikacji, identyfikacji i niszczenia min. Rozwój tej

nowej klasy środków przeciwminowych związany jest przede wszystkim z ewolucją autonomicznych źródeł zasilania. Jedną z najważniejszych cech pojazdu przeciwminowego jest bowiem niezależność od platformy nosiciela systemu pod względem poboru energii, niezbędnej do zasilania napędu i pozostałych podsystemów pokładowych [3].

Współczesne możliwości technologiczne pozwalają na adaptowanie rozwiązań występujących w naturze do potrzeb praktycznych zastosowań. Futurystyczne wizje i koncepcje konstruktorów poprzez zastosowanie wysoko zaawansowanych rozwiązań technicznych stają się rzeczywistością. Innowacyjne konstrukcje przedstawionych w artykule przeciwminowych autonomicznych robotów — pojazdów kroczących, poprzez miniaturyzację elementów wykonawczych, wydajniejsze źródła zasilania oraz materiały odporne na działanie środowiska, otwierają perspektywę efektywnego użycia ich na arenie działań wojennych XXI wieku.

Doświadczenia zdobyte podczas testów oraz prób poligonowych potwierdziły zakładaną wysoką efektywność działań przy wykorzystaniu pojazdów kroczących, osiągniętą głównie dzięki dużej mobilności, skrytości działania oraz masowości użycia systemów. Przepuszczalnie jeszcze w obecnej dekadzie mają one szansę stać się jednym z podstawowych sposobów zwalczania min w strefie przybrzeżnej, wyznaczając tym samym nowe kierunki rozwoju systemów przeciwminowych we współczesnej wojnie minowej.

Artykuł wpłynął do redakcji 23.11.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2006 r.

#### LITERATURA

- [1] N. BĄCZYK, *Nasz towarzysz robot*, Polska Zbrojna, nr 29 (495), Warszawa, 2006.
- [2] A. CICHOCKI, *Nieakustyczne wykrywanie min. Metody detekcji i urzędzenia*, Zeszyty Naukowe AMW nr 4, Gdynia, 2003.
- [3] D. FRANKOWSKI, *Przeciwminowe pojazdy podwodne*, Wyd. AMW, Gdynia, 2003.
- [4] M. JANKIEWICZ, J. SZADY, *Niszczyciele min*, Przegląd Morski, nr 4, Gdynia, 2006.
- [5] P. MENZEL, F. D'ALUISIO, *Robo sapiens. Czy roboty mogą myśleć?*, Wyd. G+J Gruner+Jahr Polska, Warszawa, 2002.
- [6] W. MISZAŁSKI, Z. ŚWIĄTNICKI, R. WANTOCH-REKOWSKI, *Inteligentne roboty wojskowe*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa, 2001.
- [7] T. ZIELIŃSKA, *Maszyny kroczące. Podstawy, projektowanie, sterowanie i wzorce biologiczne*, PWN, Warszawa, 2003.
- [8] <http://ag47.informatik.uni-bremen.de/eng/project.php?id=3&details=ja> 09.11.2006
- [9] <http://ic.arc.nasa.gov/publications/pdf/0836.pdf> 09.11.2006
- [10] <http://robosapiens.mit.edu/ariel.htm> 09.11.2006
- [11] <http://www.ais.fraunhofer.de/~klaassen/papers/SIRS01.pdf> 09.11.2006



- [12] [http://www.afcea.org/signal/articles/templates/SIGNAL\\_Article\\_Template.asp?article-id=135&zoneid=42](http://www.afcea.org/signal/articles/templates/SIGNAL_Article_Template.asp?article-id=135&zoneid=42) 09.11.2006.
- [13] <http://www.afrl.af.mil/news/spring00/features/robot-feature.pdf> 09.11.2006.
- [14] <http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2002/09/rfull/robots.html> 09.11.2006.
- [15] [http://www.ece.neu.edu/groups/hpvlsci/publication/HYBRID\\_NEURAL\\_ARCH\\_ICRA.pdf](http://www.ece.neu.edu/groups/hpvlsci/publication/HYBRID_NEURAL_ARCH_ICRA.pdf) 09.11.2006.
- [16] <http://www.neurotechnology.neu.edu/> 09.11.2006.
- [17] <http://www.neurotechnology.neu.edu/biomimeticrobots98.html> 09.11.2006.
- [18] <http://www.neurotechnology.neu.edu/NPS2000Manuscript.pdf> 09.11.2006.
- [19] [http://www.onr.navy.mil/media/extra/fact\\_sheets/robo\\_lobster.pdf](http://www.onr.navy.mil/media/extra/fact_sheets/robo_lobster.pdf) 09.11.2006.
- [20] <http://www.spawar.navy.mil/sti/publications/pubs/tr/1869/tr1869.pdf> 09.11.2006.

M. JANKIEWICZ

#### **Mine countermeasures legged vehicles**

**Abstract.** The article presents autonomous vehicles used for detection and clearance of land and naval mines on littoral zone and very shallow water. The data about US, BURP, and BIODYNOTICS programs including state of the art of innovative, biologically inspired legged robots are given. Also mine countermeasures based on ALUV's (Autonomous Legged Underwater Vehicles) are presented.

**Keywords:** biomimetic, legged robot, underwater vehicle, mine countermeasures

**Universal Decimal Classification:** 681.5