

FILIPEK Przemysław, SŁUGOCKI Michał, KAMIŃSKI Tomasz

MODUŁOWA BUDOWA ROBOTA-RYBY

Streszczenie

Przedstawiony w artykule model robota-ryby składa się z czterech modułów które współpracują ze sobą, dzięki zespołom serwomechanizmów i oprogramowaniu – umożliwiają ruch robota w wodzie. Opisano konstrukcję tych modułów, projekt 3D w programie Autodesk Inventor Professional oraz wykonanie rzeczywiste robota-ryby przy użyciu wodoodpornej sklejkę pokrytej silikonem. Robot posiada własne zasilanie akumulatorowe, kolorową kamerę, sterowanie bezprzewodowe i układ regulacji zanurzenia.

WSTĘP

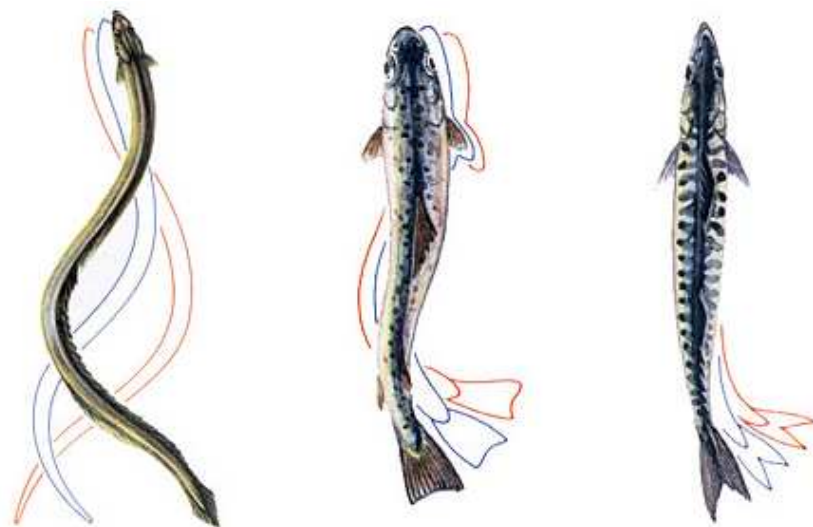
Wraz z nastaniem czasów komputerów rozpoczęła się era szeroko pojętych robotów. Minimalizacja układów mikroprocesorowych pozwoliła na stosowanie elektroniki praktycznie w każdym miejscu. Dzięki wielości różnego rodzaju materiałów półprzewodnikowych można z zamierzoną dokładnością wysterować praktycznie dowolny aktuator. Nowoczesna elektronika pozwoliła na stworzenie niezliczonej ilości czujników, które można wykorzystywać w warunkach, które dla człowieka byłyby niedostępne, niebezpieczne, a nawet zabójcze. Obecnie trudno znaleźć miejsce, gdzie roboty nie byłyby rozpowszechnione, a często nawet niezastąpione. Przeglądając stosowane rozwiązania w robotyce wyraźnie widać, że wiele rozwiązań inżynierowie czerpali bezpośrednio z przyrody. Pomimo kilku dekad prężnego rozwoju robotyki wciąż stosuje się rozwiązania podpowiedziane przez naturę. Próbuje się budować urządzenia w całości odwzorowujące żywe stworzenia - ich wygląd i sposób poruszania. Takie podejście mają inżynierowie budujący biomimetyczne roboty podwodne - w tym mechatroniczne ryby. W zależności od planowanej aplikacji, obudowa przyjmuje kształty i rozmiary mniej lub bardziej zbliżone wyglądem do odpowiednika ze świata zwierząt. Im bardziej próbuje się uzyskać naturalny efekt, tym więcej należy włożyć wysiłku intelektualnego oraz funduszy na badania związane z materiałoznawstwem i inżynierią wytwarzania wyselekcjonowanych materiałów. Niniejszy artykuł opisuje budowę jednego z robotów biomimetycznych – robota-rybę.

1. BUDOWA I SPOSÓB RUCHU RYB

W czasie wielu milionów lat rozwoju podwodnej fauny wykształciło się wiele gatunków ryb. Środowisko wodne w którym przyszło im żyć zdecydowało ich kształty i zdecydowało o sposobie poruszania się. Pomimo dużej różnorodności w wyglądzie tych stworzeń, można wyróżnić kilka cech, które ujawniają się u zdecydowanej większości ryb. [2][3][12] Są to przede wszystkim opływowy - hydrodynamiczny kształt, ciało pokryte łuskami i śluzem, zwarta budowa (brak odcinka szyjnego) i płetwy. Opływowy kształt ma ograniczać ilość energii wymaganej podczas płynięcia. Woda jest ok. 800 razy gęstsza od powietrza, co znacznie utrudnia sprawne poruszanie się z dużymi prędkościami.

Łuski chronią rybę przed wpływem czynników zewnętrznych na wnętrze organizmu. Czynniki te to piasek, rośliny i kamienie z którymi zwierzę może się zderzyć lub drapieżniki, które atakują ofiarę. Pokrycie śluzem również zmniejsza tarcie niwelując w ten sposób opory. Praktycznie każda ryba posiada mniejsze lub większe płetwy. Wśród nich znajdują się płetwa grzbietowa (która odpowiada za utrzymanie wyznaczonego toru ruchu), płetwy brzuszne (odpowiedzialne za zanurzenie przechylając się w dół lub w górę), płetwy piersiowe (które odpowiednio skierowane działają jak hamulce) oraz płetwa ogonowa (która odpowiada głównie za napędzanie oraz skręcanie). Płetwa ogonowa przeciwdziała również tworzeniu się wirów wodnych, które mogłyby negatywnie wpłynąć na wydajność ruchową ryby.

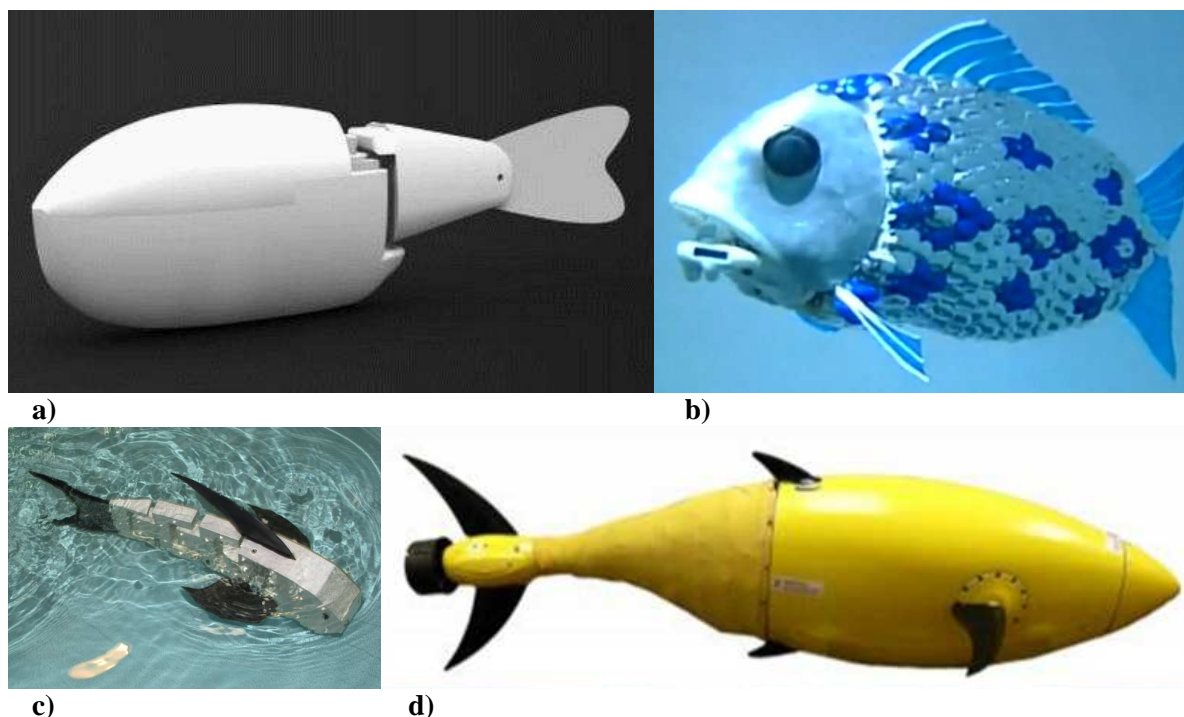
Życie w często niebezpiecznych warunkach związanych z obecnością drapieżników lub na przykład w rwących rzekach, wymusza na rybach umiejętność szybkiego i zwinnego poruszania się. W swoich opracowaniach przyrodnicy wymieniają trzy główne czynniki mające wpływ na szybkość płynięcia. Pierwszy to kształt i wielkość ciała. Drugi to szybkość oscylacji fragmentu napędzającego. Trzeci to rozmiar i kształt płetwy ogonowej. Wymienia się również trzy główne sposoby poruszania się ciała w celu napędzenia ryby. Ryba o podłużnym kształcie, na przykład węgorz, gdzie długość ciała jest wielokrotnością jego szerokości, wykonuje ruchy wężowate. Wiją się w wodzie wychylając bardzo mocno na boki. Całe ciało jest zaangażowane przy każdym ruchu. Ryby o standardowym kształcie, jak na przykład pstrąg, również używają do napędu całego korpusu, jednak wychylenia nie są aż tak znaczne i całe ciało jest o wiele bardziej zwarte. Z kolei makrele wykonuje ruchy oscylacyjne tylko tylną częścią ogona i płetwą. Na poniższym rysunku widać opisane ruchy.



Rys. 1. Sposób poruszania się (od lewej strony): węgorza, pstrąga, makreli [11]

2. KONCEPCJA BUDOWY ROBOTA-RYBY

Geneza pomysłu na robota-rybę powstała z pragnienia autorów, aby zbudować robota biomimetycznego, który będzie naśladował żywe stworzenie. Jednocześnie, projekt miał być ciekawy, wykonalny, niedrogi i nieszablony. Wybór padł na rybę, której budowa nie jest bardzo skomplikowana, a roboty ją naśladowujące powstają już od kilku lat. Różne konstrukcje robotów-ryb służą między innymi do badań zoologicznych (rysunek 2a), pomiarów zanieczyszczeń wód (rysunek 2b), eksploracji dna morskiego i badań prądów morskich, celów edukacyjnych (rysunek 2c), a nawet wykorzystywane są do zastosowań militarnych (rysunek 2d).



Rys. 2. Roboty-ryby: a) Polytechnic Institute of New York University [7], b) Essex Robotic - projekt SHOAL [5], c) CyberRyba Politechnika Krakowska [4], d) BioSwimmer - Departament Bezpieczeństwa Narodowego USA [6]

Problemem jest bardzo często komunikacja, bowiem fale radiowe są znacznie tłumione przez wodę. Niektórzy konstruktorzy korzystają z pomocy modułu, generującego fale dźwiękowe o niskiej częstotliwości, rozchodzące się w wodzie lepiej niż fale radiowe. Niestety, szybkość transmisji jest bardzo niska i robo-ryby mogą nadawać tylko bardzo krótkie, predefiniowane komunikaty. Nowy projekt SHOAL prowadzi prace nad innym systemem komunikacji, który oparty jest na falach długich, co pozwala znacznie podnieść szybkość i długość transmisji [5].

3. PROJEKT ROBOTA-RYBY

Urządzenie jest robotem biomimetycznym, przypominającym kształtem prawdziwą rybę. Do jego budowy wykorzystano inżynierską wiedzę z zakresu mechatroniki i inżynierii materiałowej.

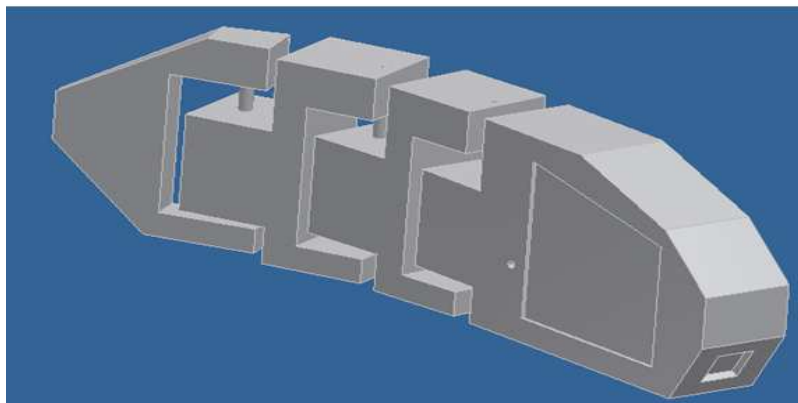
Robot-ryba to przede wszystkim konstrukcja mechaniczna (modułowa obudowa), elektronika (napęd modułów, realizacja zanurzenia, identyfikacja otoczenia, sterowanie i komunikacja) oraz oprogramowanie.

Do zamodelowania kształtu modułów i obudowy robota-ryby w projekcie 3D użyto oprogramowania Autodesk Inventor Professional 2010, schemat elektroniki i płytkę drukowaną zrealizowano w programie PCad 2006, a program sterujący do procesora napisano w środowisku AVR studio 4.18.

3.1. Konstrukcja modułowa obudowy

Obudowa podzielona jest na moduły (rysunek 3), które imitują sposób poruszania się pstrąga (rysunek 1). Jest to uproszczony model ruchu tej ryby. Aby uzyskać zamierzony efekt należało skonstruować obudowę, która kształtem przypomina naturalny wzór i podzielić ją na moduły, które poruszając się względem siebie imitują ruch prawdziwej ryby. Robot składa się z czterech głównych części. W przedniej znajduje się cały układ sterowania, układ

zanurzania, akumulator, kamera oraz część napędu. W dwóch środkowych modułach znajdują się: serwomechanizmy, przekładnia umożliwiająca przeniesienie momentu napędowego serwomechanizmu, pionowo ustalona oś przenosząca moment na sąsiadujący moduł, łożyska cierne, okablowanie i podstawka regulująca położenie serwomechanizmów. Tylna część (ogon) jest napędzana serwomechanizmem z sąsiadującego modułu dlatego w środku znajduje się tylko balast.



Rys. 3. Model 3D robota-ryby

W robocie-rybie obudowa spełnia trzy funkcje. Pierwszą z nich jest mocowanie wszystkich podzespołów. Do obudowy przykręcone lub przyklejone są wszystkie elementy we wnętrzu robota. Drugie zadanie to ochrona mechanizmów i elektroniki przed wpływem warunków zewnętrznych. Głównym zagrożeniem są woda i wilgoć. Na każdym etapie wykonania projektu, począwszy od założeń projektowych, przez zamodelowanie obiektu, po wykonanie - brano były pod uwagę wszystkie te czynniki. Trzecia funkcja dotyczy jak najwierniejszego oddania przez obudowę robota, kształtu prawdziwej ryby.

Obudowa wykonana jest ze sklejki wodoodpornej o grubości sześciu milimetrów. Zaletą tego materiału jest łatwość obróbki i duża sztywność. Łączenia między elementami wykonane zostały za pomocą połączeń śrubowych. Na rysunku 3 widoczna jest część ogonowa obudowy wykonana z elementów ze sklejki, połączonych za pomocą wkrętów do drewna.



Rys. 3. Część ogonowa obudowy

Każda szczelina łączeniowa została pokryta warstwą silikonu uniwersalnego, którą nałożono po wewnętrznej i zewnętrznej stronie obudowy. Dodatkowo, cała obudowa została pokryta około 2-3 milimetrową powłoką silikonową. Użyty do tego silikon sanitarny

charakteryzuje się wysoką odpornością na wilgoć i pleśń. Pełni on funkcję zabezpieczającą przed przedostaniem się wody przez mikropęknięcia, które występują w drewnie, a także wspomaga warstwę silikonu wcześniej nałożoną na szczeliny. Na rysunku 4 widoczne są moduły środkowe przed i po nałożeniu silikonu.



Rys. 4. Moduły środkowe - po lewej przed nałożeniem silikonu, po prawej po wykonaniu powłoki

Elementy konstrukcji mechanicznej tworzą ze sobą pary kinematyczne obrotowe o jednym stopniu swobody. Każda para modułów połączona jest za pomocą sworznia, który pełni jednocześnie rolę osi napędowej.

3.2. Napęd i sposób poruszania się robota

Dobór odpowiedniego napędu jest kluczowym zadaniem przy budowie robota. Rozwiązań jest wiele, co pozwala na dobranie odpowiedniego napędu praktycznie do każdej aplikacji. Główne wymagania jakie musi spełnić napęd, to małe wymiary, duży moment, łatwość odwrócenia kierunku obrotów, dokładność pozycjonowania, znajomość położenia osi wirnika w każdej chwili, nieskomplikowane sterowanie i niska cena. Małe wymiary pozwolą na zmniejszenie wielkości obudowy dzięki czemu robot będzie mógł przypominać naturalnego odpowiednika. Duży moment jest bardzo istotny, gdyż ryba będzie zanurzona w cieczy, której gęstość jest o wiele większa od powietrza. Zwiększy to wielokrotnie opory ruchu. Ważne jest, aby silnik miał możliwość zmiany kierunku obrotów i nie tracił przy tym dużego momentu obrotowego, co umożliwi bardziej dynamiczny ruch. Niedokładność pozycjonowania napędu i odchyłka wielkości jednego stopnia może wpłynąć negatywnie na sterowność robota. Znajomość położenia wirnika jest kluczowa, gdyż umożliwia dokładne zsynchronizowanie ze sobą ruchu kilku silników. Jednym z ważniejszych punktów przy wyborze odpowiedniego rozwiązania jest także cena.

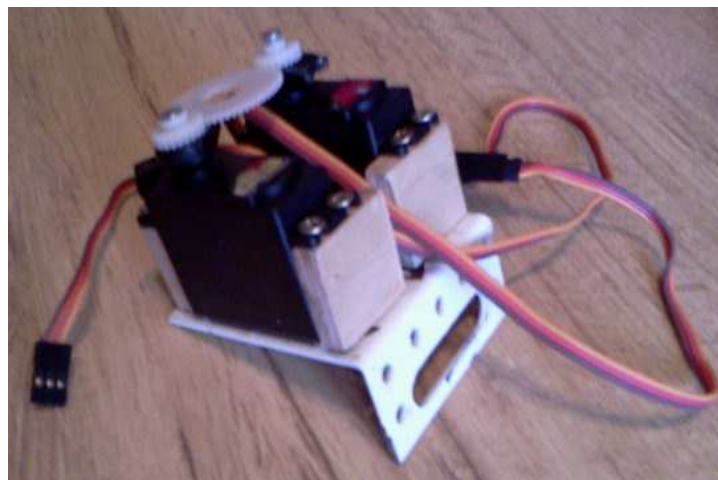
Silniki prądu stałego oraz serwomechanizmy są najczęściej stosowanymi napędami w modelarstwie. Silnik prądu stałego byłby bardzo dobrym rozwiązaniem, gdyby nie potrzeba wyposażenia go w dodatkowy układ pętli zwrotnej w postaci enkodera. Przy małym silniku i stosunkowo małej ilości miejsca w obudowie, trudno byłoby go odpowiednio zainstalować aby poprawnie funkcjonował. Ponadto należałoby go wyposażyć w przekładnię, gdyż uzyskiwany moment byłby zbyt mały, a prędkość obrotowa zbyt duża. Korzystniejszym rozwiązaniem jest zainstalowanie serwomechanizmu.

Układy te są wyposażone w wewnętrzny układ mikroprocesorowy, który sam dba o to, żeby pozycjonowanie było zgodne z wartością zadaną. Serwomechanizm składa się z obudowy, w której zamknięto wysokoobrotowy silnik prądu stałego, zestawu kół zębatach, które tworzą przekładnię o dużej zmianie przełożenia, łożysk, potencjometru, układu

mikroprocesorowego. Potencjometr zainstalowany jest na wale przekazującym moment i prędkość obrotową silnika na zewnątrz. Wraz z odchyleniem wału zmienia się oporność, a mikrokontroler przelicza tę zmianę na wychylenie. Następnie sprawdza, czy wartość ta jest zgodna z podaną z zewnątrz. Jeżeli tak nie jest, odchyłka jest automatycznie korygowana. Wymiary serwomechanizmów są małe, a przy tym moment obrotowy jest wystarczający, na poziomie od kilku do kilkudziesięciu kilogramów, na ramieniu o długości jednego centymetra [9].

Kształt obudowy robota-ryby zaczerpnięto z rysunku 2c. Zmodyfikowano jednak sposób napędu poszczególnych członów, stosując zamiast jednego – dwa sprzężone ze sobą serwomechanizmy (rysunek 5).

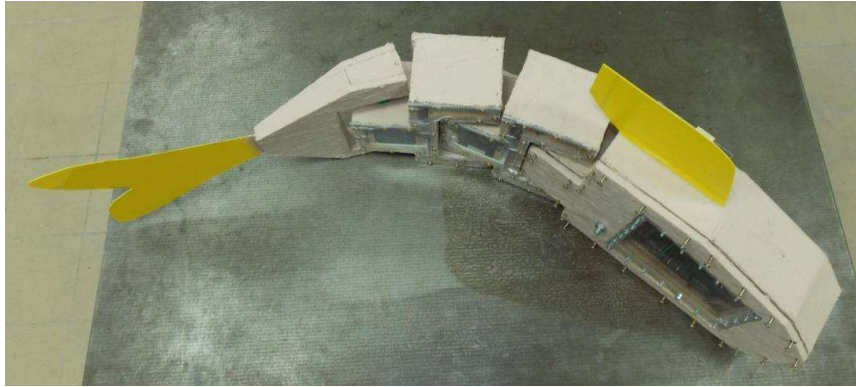
Moduły napędowe robota-ryby składają się z metalowej podstawki, dwóch serwomechanizmów z przykręconymi do nich kołami zębatymi oraz mocowań.



Rys. 5. Moduł napędowy

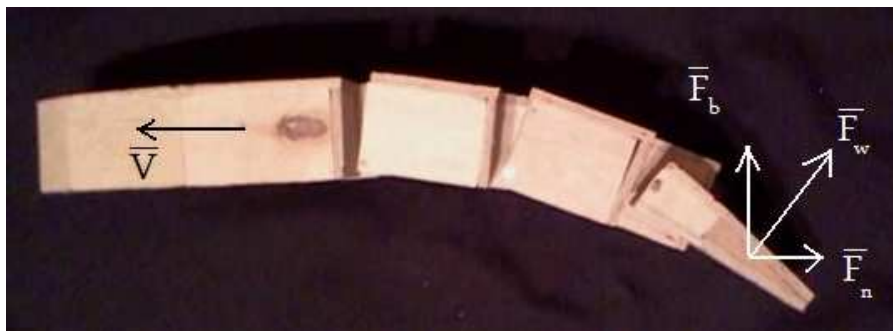
Dzięki zastosowaniu module napędowym dwóch serwomechanizmów ustawionych po przeciwnych stronach osi napędowej, wyeliminowano niepożądane siły poprzeczne które utrudniały poprawną współpracę kół zębatych. Dzięki temu siły znoszą się nawzajem i pozostaje jedynie moment skręcający.

Kolejność i kąt wychyleń modułów robota-ryby są ściśle określone. Przednia część wychyla się najmniej, środkowe moduły poruszają się mocniej a ogon najbardziej (rysunek 6). Dzięki temu uzyskuje się większą siłę napędową przy każdym cyklu ruchu. W robocie znajduje się 7 serwomechanizmów. Do napędzenia modułów zastosowano 6 sztuk Tower Pro MG 995. Zadaniem siódmego jest napędzanie płetw bocznych, odpowiedzialnych za zanurzenie.



Rys. 6. Wykonany model robota-ryby podczas skrętu (z wychylonymi modułami)

Na rysunku 7 zaznaczone są siły wypadkowe jakimi ryba działa na wodę. Jest to uproszczona analiza pomijająca wiele czynników, jak na przykład przepływ wody między modułami i jej zawirowania mające wpływ na dynamikę ruchu. Dzięki temu można w uproszczeniu zrozumieć, dlaczego ryba płynie do przodu i dlaczego cały korpus porusza się na boki. Gdy ogon jest maksymalnie wychylony od położenia neutralnego i serwomechanizmy zaczynają ściągać go z powrotem, działa na wodę siła wypadkowa F_w skierowana prostopadłe do jego powierzchni. Siłę tę można rozłożyć na dwie składowe. Jedną z nich \bar{F}_n odpowiada za napędzanie ryby, natomiast druga \bar{F}_b powoduje niepożądane skręcanie konstrukcji na boki. Gdy ogon zbliża się do punktu neutralnego, siła wypadkowa ustawia się pod coraz większym kątem do wektora prędkości ryby, co zmniejsza wartość siły napędowej a zwiększa wartość siły odpowiadającej za powstanie ruchów na boki.



Rys. 7. Rozkład sił podczas ruchu

3.3. Realizacja zanurzenia

W robocie-rybie zastosowany został dynamiczny sposób zmiany głębokości zanurzenia [10]. Powodem takiego wyboru jest prostota konstrukcji i niska cena. Do regulacji zanurzenia służy para płetw bocznych zamontowanych w przedniej części kadłuba (rysunek 8). Regulując ich wychylenie względem osi poziomej zmienia się ich kąt natarcia względem wody dzięki czemu ryba płynąc - wynurza się lub zanurza. Robot został odpowiednio wyważony tak, aby jego pływalność była bliska zeru.



Rys. 8. Model rzeczywisty robota-ryby z widoczną płetwą boczną w przednim module

3.4. Identyfikacja otoczenia

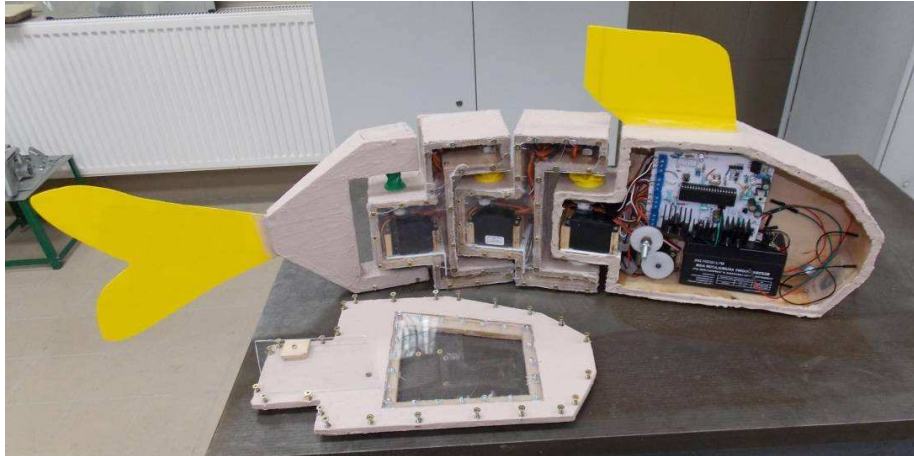
Głównym sposobem identyfikacji otoczenia jest analiza obrazu z kamery czołowej. Zastosowano bezprzewodową, kolorową kamerę typu 208C, którą zainstalowano w przedniej części robota. Jej położenie ustalono za pomocą dwóch wkrętów. Podstawa umożliwia regulację przechylenia obiektywu. Nie ma możliwości zdalnego regulowania jej kąta. Kamera jest włączana i wyłączana zdalnie. Sygnał z kamery wysyłany jest poprzez antenę wystającą z obudowy. Odbiornik analizuje odebrane informacje i przekształca na obraz wideo podawany na monitor LCD. Robot mierzy również temperaturę wody. Do jej pomiaru użyty został układ scalony DS18B20.

3.5. Sterowanie i komunikacja

Układ elektroniczny robota - ryby realizuje kilka funkcji odpowiedzialnych za jego działanie. Po pierwsze, umożliwia komunikację pomiędzy użytkownikiem a robotem, steruje pracą serwomechanizmów oraz odpowiada za identyfikację parametrów otoczenia. Do realizowania tych funkcji niezbędne jest zastosowanie mikrokontrolera. Funkcje jakie zostały przed nim postawione, to możliwość komunikacji w standardzie UART, możliwość realizacji sterowania serwomechanizmami za pomocą czterech szesnastobitowych kanałów PWM, możliwość programowania za pomocą programatora ISP lub JTAG, możliwość komunikacji w standardzie 1-Wire i obecność kilku programowalnych pinów wejściowo – wyjściowych (I/O). Do sterowania robotem-rybą wykorzystano mikrokontroler firmy AVR model ATmega1284P [1, 13].

Zdalne sterowanie robotem realizowane jest za pomocą komputera. Do przesyłania informacji między komputerem i mikrokontrolerem zastosowano moduł komunikacyjny MOBOT RCR V2. Urządzenie składa się z dwóch modułów. Jeden z nich podłączany jest do komputera za pośrednictwem portu USB. Drugi łączy się bezpośrednio z pinami mikrokontrolera i zasilaniem. Informacja między modułami wysyłana jest za pomocą fal radiowych w standardzie UART. Parametry przesyłu to 8 bitów danych, brak bitów parzystości i jeden bit stopu. Transmisja odbywa z prędkością 57000 bps. Częstotliwość pasma komunikacji między modułami wynosi 868 MHz. Użytkownik dysponuje dziesięcioma kanałami [8].

Dwa środkowe segmenty zaopatrzone w przezroczyste ścianki przykręcane wkrętami, aby móc obserwować działanie elektroniki i umieszczonych wewnątrz serwomechanizmów (rysunek 9).



Rys. 9. Model rzeczywisty robota-ryby ze zdjętą osłoną boczną – widok na elektronikę

Na płycie drukowanej znajdują się trzy układy zasilane różnymi napięciami. Kamera pracuje przy napięciu 9 V, serwomechanizmy wymagają zasilania o napięciu 6 V, natomiast mikrokontroler i dołączone do niego zewnętrzne układy peryferyjne - napięcia 5 V. Prąd doprowadzany jest z jednego akumulatora żelowego o napięciu 12 V i pojemności 1,2 Ah.

3.6. Oprogramowanie

Do oprogramowania mikroprocesora ATmega1284P użyto programu AVR studio 4.18 z językiem programowania AVR GCC, będącym przełożeniem języka C++ pod programowanie mikrokontrolerów rodziny AVR [3].

Program wgrany do mikrokontrolera składa się z 809 linii i po skompilowaniu zajmuje 7834 bajty w pamięci flash (6% całej pamięci).

4. MOŻLIWOŚCI USPRAWNIENIA MODELU

Przedstawiony projekt robota-ryby został wykonany fizycznie (rysunek 9). Nie odbyły się jeszcze wodowanie modelu i próby zanurzeniowe. Odbędzie się to prawdopodobnie latem przyszłego roku.

Robota – rybę można wyposażyć w dodatkowe układy peryferyjne rozszerzając jej możliwości zastosowań do wykonywania innych zadań. Przy zastosowaniu chwytaka, robot mógłby być wykorzystywany przez wojsko, policję i służby ratunkowe, oraz geologów i biologów do przeszukiwania zbiorników wodnych. Istnieje możliwość umieszczenia w robocie wielu różnego rodzaju czujników, na przykład do badania skażenia radioaktywnego lub chemicznego, stopnia zasolenia wody itp.

W modelu zastosowana kamera posiada ręczną regulację pochylenia. Aby udoskonalić to rozwiązanie można byłoby zastosować kamerę ze zdalnie regulowanym pozycjonerem.

Ruch robota wyglądałby jeszcze bardziej naturalnie gdyby zastosowano więcej modułów poruszających się względem siebie (na przykład 6) z określonymi wychyleniami. Aby całkowicie zbliżyć wygląd do naturalnego, należałoby wykonać elastyczne poszycie, wyłożone polimerowymi elementami przypominającymi rybie łuski, nakładane na już istniejącą powłokę.

Zastosowanie układu statycznego zanurzania zwiększyłoby dynamikę zmiany głębokości i uniezależniło je od prędkości pływnięcia. Ponadto robot mógłby utrzymać pozycję nieruchomą pod wodą.

Ze względu na ograniczony zasięg sterowania radiowego w środowisku podwodnym, można wykorzystać sterowanie hydroakustyczne lub zwiększyć autonomiczność robota, np.

poprzez implementację programu do samodzielnego wykonywania zadań a następnie powrotu na wcześniej określoną pozycję.

BIBLIOGRAFIA

1. Baranowski R., *Mikrokontrolery AVR ATmega w praktyce*. Wydawnictwo BTC, Warszawa 2005.
2. Czechowski W., *Biologia*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 1989.
3. Rudnicki A., *Ryby Wód Polskich*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1989.
4. CyberRyba Politechnika Krakowska, <http://www.cyberryba.eu/>, (10.10.2013).
5. Essex Robotic - projekt SHOAL, <http://tech.wp.pl/kat,1009779,title,Ryba-robot-pomoze-oczyszcic-porty,wid,14517594,wiadomosc.html>, (10.10.2013).
6. Robot BioSwimmer - Departament Bezpieczeństwa Narodowego USA, <http://www.conowego.pl/aktualnosci/ryba-robot-bedzie-chronic-wybrzeza-usa-7699/>, (10.10.2013).
7. Ryba z Polytechnic Institute of New York University, <http://nauka.gadzetomania.pl/2012/03/03/ryba-robot-stanela-na-czele-lawicy>, (10.10.2013).
8. Serwis pasjonatów robotyki mobilnej, <http://www.mobot.pl/index.php?site=products&type=853>, (10.10.2013).
9. Strona firmy sprzedającej akcesoria modelarskie, <http://abc-rc.pl/p/115/3124/serwo-towerpro-mg-995-55g-13kg-cm-metal-serwa-analogowe-serwa.html>, (25.12.2012).
10. Strona opisująca modelarstwo podwodne, <http://www.modelarstwowpodwodne.hekko.pl/technika-modelarska/3-techniki-zanurzania-op.html>, (04.01.2013).
11. Strona o wędkarstwie, http://ryby.fishing.pl/dodatek_3.php, (04.01.2013).
12. Strona Polskiego Związku Wędkarskiego w Strzegomiu, <http://www.pzw.strzegom.eu/articles.php?id=84>, (04.01.2013).
13. Strona producenta mikrokontrolerów – nota katalogowa ATmega1284P, <http://www.atmel.com/devices/atmega1284p.aspx>, (06.12.2012).

THE MODULAR CONSTRUCTION OF THE ROBOT-FISH

Abstract

Model described in the article is a robot fish. It is consist of four modules which are working together, thanks to the servomechanisms and the software – there allow the robot movement in the water. The article describe construction of this modules , 3D project in the Autodesk Inventor Professional program and real performance of robot-fish, using the weatherproof plywood converted with silicone. Robot has got its own rechargeable battery, color camera, wireless control and draft control system.

Autorzy:

dr inż. **Przemysław Filipek** – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

inż. **Michał Sługocki** – absolwent studiów I stopnia Politechniki Lubelskiej

dr inż. **Tomasz Kamiński** – Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa