

Mariusz Dramski, Tadeusz Graczyk, Sławomir Jaszczak, Mariusz Matejski

dr inż. Mariusz Dramski
Uniwersytet Szczeciński
Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług
71 – 004 Szczecin, ul. Cukrowa 8
tel. 091 444 3115, fax. 091 444 3116,
mdramski@ukw.edu.pl

dr hab. inż. Tadeusz Graczyk
Wydział Techniki Morskiej
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

dr inż. Sławomir Jaszczak
Wydział Informatyki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

dr inż. Mariusz Matejski
Wydział Techniki Morskiej
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**PROPOZYCJA PROTOKOŁU KOMUNIKACJI
DLA ZDALNIE STEROWANEGO POJAZDU PODWODNEGO**

Artykuł prezentuje propozycję protokołu komunikacyjnego dla pojazdu podwodnego typu ROV, zbudowanego i eksploatowanego na Wydziale Techniki Morskiej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Pojazd o nazwie MAGIS (od nazwisk projektantów) został zaprojektowany w celu eksploracji dna Morza Bałtyckiego i poszukiwań pozostałości z II wojny światowej, wraków, naturalnych przeszkód oraz monitoringu podwodnych części budowli hydrotechnicznych. Pojazd może być wykorzystany również do inspekcji części podwodnych statków morskich, rzecznych i innych jednostek nawodnych. Specyfika akwenu, w którym eksploatowany jest pojazd, wymusiła odpowiednią konstrukcję pojazdu. Miało to oczywiście wpływ na opisywany w tym dokumencie protokół komunikacyjny.

Słowa kluczowe: pojazd głębinowy, ROV, protokół komunikacji.

**PROPOSAL OF A COMMUNICATION PROTOCOL FOR
THE REMOTELY OPERATED VEHICLE**

The article presents a proposal for the communication protocol to be used by an ROV built and operated by the Faculty of Maritime Technology, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Poland. The vehicle, named MAGIS (short of the names of its designers), has been designed for the exploration of the Baltic Sea bottom and finding WWII materials, wrecks and natural obstacles, as well as for the monitoring of underwater parts of hydrotechnic structures. The vehicle can be used for inspection of underwater parts of seagoing or inland ships and other vessels. The nature of a sea region where the vehicle is to operate has resulted in an appropriate design of the vehicle, which influenced the communication protocol described in the paper.

Key words: underwater vehicle, ROV, communication protocol.

WSTĘP

Pojazdy podwodne wszystkich typów pełnią znaczącą rolę w eksploracji i badaniach podwodnych. Ich zasadnicza rola to zastąpienie człowieka, tam gdzie warunki pracy są szczególnie nieprzyjemne czy wręcz niebezpieczne, [5]. Wyróżnić można dwa podstawowe typy tych jednostek: zdalnie sterowane za pośrednictwem kabloliny (ROV) i pojazdy autonomiczne (AUV).

Pozwalają one na ograniczenie takich czynników ryzyka, jak:

- bezpośrednie działanie człowieka w warunkach podwodnych (praca w warunkach wysokich ciśnień, niskich temperatur),
- trudności w wykonywaniu prac wymagających użycia większych sił pod wodą,
- utrudnienia w orientacji pod wodą
- i wiele innych, związanych z pracą człowieka w środowisku nieprzyjemnym, z ograniczoną łącznością z ośrodkiem dyspozycyjnym.

Od lat 80-tych ubiegłego wieku na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny) prowadzone są prace badawcze i projektowe dotyczące pojazdów podwodnych różnego typu, [1, 2, 3, 4, 6, 7]. Przeprowadzone eksperymenty zaowocowały pozyskaniem istotnej wiedzy z zakresu projektowania urządzeń pracujących w środowisku wodnym.

Jednym z takich projektów jest system TODS-400. Składa się on z dwóch części:

- nawodnej jednostki sterująco-pomiarowej, zaopatrzonej w system zasilania, konsolę sterującą, urządzenia wizualizacyjne, system pozycjonowania, magnetometr oraz minilaboratorium do analizy parametrów fizyko-chemicznych wody,
- pojazdu głębinowego MAGiS, w skład którego wchodzi pędniki umożliwiające ruch pojazdu, światła, kamery, manipulator i inne urządzenia, umieszczone na aluminiowej ramie.

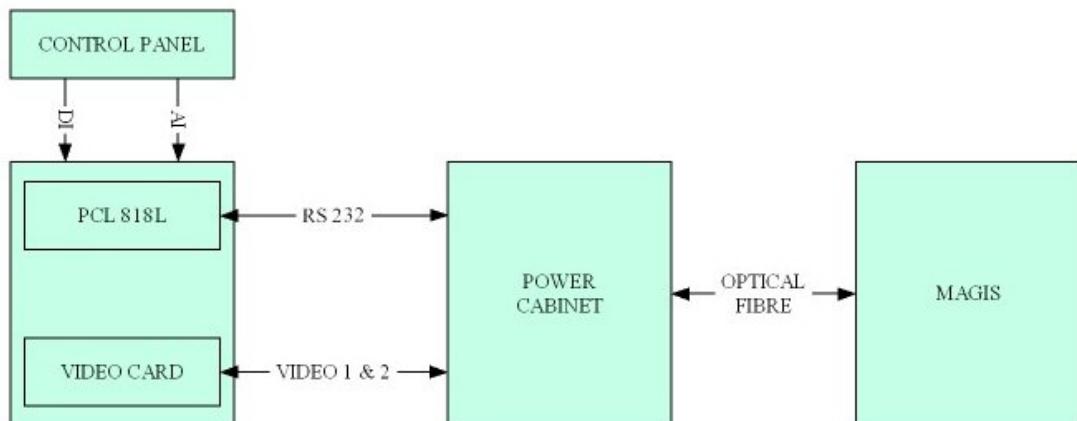
W niniejszym artykule główną uwagę położono na problemy związane z komunikacją pomiędzy pojazdem, pracującym pod wodą, a komputerem PC wchodzącym w skład centrali kontrolno-pomiarowej. Generalnie wszelka wymiana informacji pomiędzy poszczególnymi urządzeniami odbywa się poprzez port szeregowy RS-232. Jedynie komunikacja pomiędzy pojazdem a centralą kontrolno-pomiarową zachodzi za pośrednictwem kabloliny (400m), zawierającą światłowód. Najistotniejszym elementem dla operatora pojazdu jest jednak panel kontrolny wyposażony w joysticki i potencjometry oraz komputer PC.



Rys.1 Pojazd podwodny MAGIS w basenie technologicznym WTM

1. OGÓLNA STRUKTURA SYSTEMU

Na rys. 2 przedstawiono ogólną strukturę omawianego systemu.



Rys. 2 Struktura systemu:

CONTROL PANEL – panel sterowania, PCL818L – karta transmisji, wejścia/wyjścia...., VIDEO CARD – karta video, POWER CABINET – moduł zasilania, OPTICAL FIBRE – światłowód

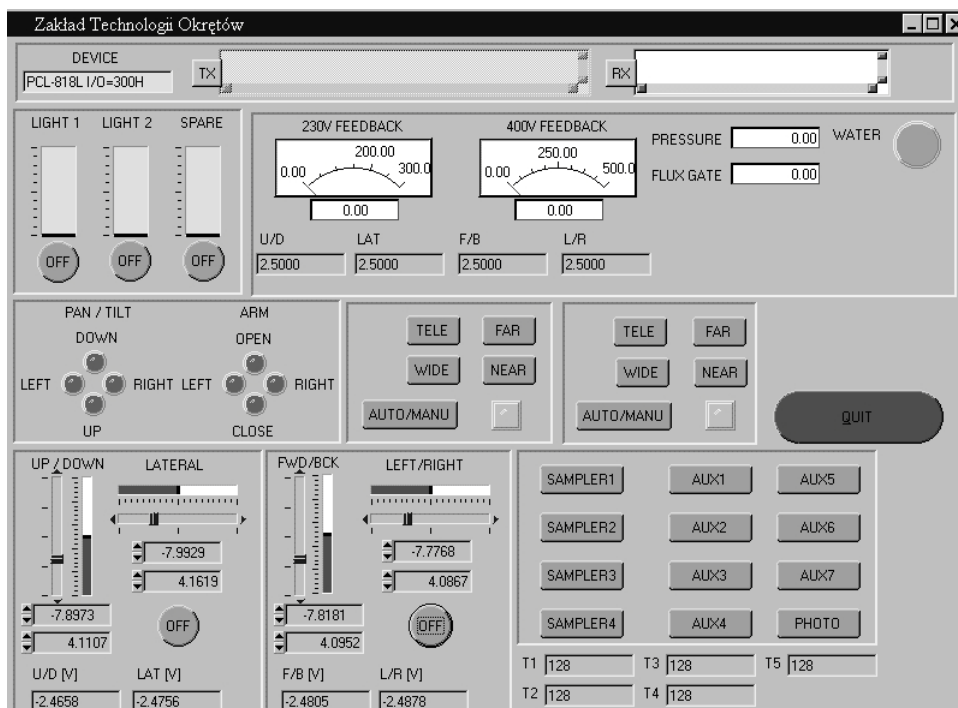
Pojazd MAGIS wymagał zaprojektowania i wdrożenia odpowiedniego oprogramowania sterującego. Oprogramowanie jest odpowiedzialne za wymianę sygnałów sterujących oraz komunikatów pomiędzy operatorem i pojazdem.

Interfejs użytkownika przedstawiono na rys. 3 – jest to zbiór kontrolki prezentujących informacje konieczne do zapewnienia dwustronnej komunikacji pomiędzy pojazdem pracującym pod wodą i operatorem. Interfejs użytkownika jest widoczny na ekranie komputera PC. Komputer zaś jest połączony z panelem sterującym za pomocą karty wejścia / wyjścia PLC 818L. Połączenie z rozdzielnią

mocy odbywa się poprzez port szeregowy RS 232, którego parametry są następujące:

- szybkość transmisji: 9600 bps,
- słowo: 8 bitów,
- bity stopu: 2 bity,
- parzystość: brak.

Całe oprogramowanie zostało napisane przy użyciu narzędzia LabWindow/CVI firmy National Instruments.



Rys. 3 Interfejs użytkownika

2. PRZEPLÝW INFORMACJI Z KOMPUTERA DO POJAZDU

Rozkazy do pojazdu muszą być przesyłane z częstotliwością co najmniej 50 milisekund. W przeciwnym wypadku pojazd wejdzie w tryb bezpieczeństwa (zatrzymane pędniki, zatrzymanie wszystkich urządzeń cyfrowych, światła na pół mocy). Łańcuch znaków tworzący rozkaz wygląda następująco:

[\\$12], <CS>, Spare, Light2, Light1, Thruster1, Thruster3, Thruster4, Thruster5, TORC2, TORC3, TORC4, TORC5, TORC6, [\$5B], [\$3C], [\$C3]

gdzie:

- **Spare**: 0-10 VDC wyjście analogowe;
- **Lights1 & 2**: rozkazy dla świateł – 0 światła wyłączone, 255 pełna moc;
- **Thruster1..5**: rozkazy dla pędników – 128 pędniki wyłączone, 128-255 praca w jednym kierunku, 128-0 praca w drugim kierunku;
- **TORC2** – komenda dla kamery 1:
 - bits 0-2: nie używane,
 - bit 3: ostrzeżenie automatyczne / ręczne,
 - bit 4: zbliżenie,
 - bit 5: oddalenie,
 - bit 6: ostrzeżenie na bliższe pole,

- bit 7: ostrzenie na dalsze pole;
- **TORC3** – kamera 2 (analogicznie jak kamera 1);
- **TORC4** – pan & tilt oraz próbniki:
 - bit 0: próbnik 4,
 - bit 1: próbnik 3,
 - bit 2: próbnik 2,
 - bit 3: próbnik 1,
 - bit 4: pan & tilt prawo,
 - bit 5: pan & tilt lewo,
 - bit 6: pan & tilt góra,
 - bit 7: pan & tilt dół;
- **TORC 5** – ramię:
 - bits 0-3: nie używane,
 - bit 4: obrót w prawo,
 - bit 5: obrót w lewo,
 - bit 6: otwarcie,
 - bit 7: zamknięcie;
- **TORC6** – aparat, inne urządzenia zewnętrzne:
 - bit 0: wyzwolenie migawki aparatu,
 - bits 1-7: urządzenia zewnętrzne 1-7;
- **<CS>** - suma kontrolna;
- **[\$5B], [\$3C], [\$C3]** – sekwencja końcowa.

3. PRZEPIY W INFORMACJI Z POJAZDU DO KOMPUTERA

Rozkaz ma postać:

**[\$21], <CS>, Zasilanie 1, Zasilanie 2, Kompas, Ciśnienie, Wejścia cyfrowe
Stan kamer, [\$5B], [\$3C], [\$C3]**

gdzie:

- **<CS>** - suma kontrolna;
- **Stan kamer** – bit 0: 1 – kamera 1 ostrzenie automatyczne,
0 – kamera 1 ostrzenie ręczne,
bit 1: 1 – kamera 2 ostrzenie automatyczne,
0 – kamera 2 ostrzenie ręczne;
- **Wejścia cyfrowe:**
 - bit 0: czujnik wody w pojeździe,
 - bits 1-7: wejścia cyfrowe 1-7;
- **Ciśnienie** – wartość 0-5 VDC dla czujnika, wartość cyfrowa w zakresie 0-255;
- **Kompas** – wartość 0-5 VDC dla czujnika, wartość cyfrowa w zakresie 0-255;
- **Zasilanie 1** – bieżący stan zasilania 240 VAC;
- **Zasilanie 2** – bieżący stan zasilania 400 VAC;
- **[\$5B], [\$3C], [\$C3]** – sekwencja końcowa.

4. IMPLEMENTACJA

Celem oprogramowania jest dekodowanie łańcucha komend i przesłanie (bądź otrzymanie) tej informacji z komputera PC do pojazdu. Oprogramowanie zostało stworzone przy użyciu środowiska LabWindow/CVI, przy użyciu języka C, [8]. Aktualnie program kontrolny działa pod kontrolą systemu operacyjnego Windows 98SE.

Z powodu dużej objętości użytego kodu, zamieszczono tylko wybrane, najważniejsze części. Oto pierwszy przykład:

```
int CVICALLBACK PhotoCallback (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event) {
        case EVENT_LEFT_CLICK:
            TORC6=(TORC6 | 0x01);
            break;
        case EVENT_COMMIT:
            TORC6=(TORC6 & 0xFE);
            break;
    }
    return 0;
}
```

Powyższa procedura jest odpowiedzialna za wyzwolenie migawki aparatu fotograficznego. Ilustruje ona w jaki sposób obsługiwane są tego typu urządzenia. Podobne procedury zostały stworzone również dla innych elementów stanowiących wyposażenie pojazdu podwodnego.

Teraz spójrzmy na kod odpowiedzialny za przesyłanie danych z komputera PC do pojazdu:

```
int CVICALLBACK ComTimerCallBack (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event) {
        case EVENT_TIMER_TICK:
            send_data[0] = (unsigned char) Spare;
            send_data[1] = (unsigned char) Light2;
            send_data[2] = (unsigned char) Light1;
            send_data[3] = (unsigned char) Thruster1;
            send_data[4] = (unsigned char) Thruster2;
            send_data[5] = (unsigned char) Thruster3;
            send_data[6] = (unsigned char) Thruster4;
            send_data[7] = (unsigned char) Thruster5;
            send_data[8] = TORC2;
            send_data[9] = TORC3;
            send_data[10] = TORC4;
            send_data[11] = TORC5;
            send_data[12] = TORC6;
            send_data[13] = '\0';
            sendstring (send_data, 13 , comport);
            break;
    }
    return 0;}
```

Jak można zauważyć, strumień danych jest kontrolowany przez licznik czasu. Najpierw należy załadować wszystkie potrzebne dane do bufora o nazwie `send_data` i dalej następuje przesłanie tak zbudowanego komunikatu do pojazdu. Odbiór danych z pojazdu realizowany jest podobnie, zgodnie z protokołem opisanym powyżej.

Sterowanie pędnikami odbywa się w sposób liniowy o 3 składowych, którymi są:

- bieżące napięcie,
- wzmacnienie,
- offset (przesunięcie).

Przykładowy kod:

```
GetCtrlVal (panelHandle, PANEL_F_B_SLIDE, &offset6);  
GetCtrlVal (panelHandle, PANEL_F_B_GAIN, &gain6);  
fVoltage[6]=gain6*fVoltage[6]+offset6;
```

Wartości wzmacnienia i przesunięcia są podawane przez operatora poprzez interfejs użytkownika. Jest to bardzo istotne, gdyż panel sterujący jest zbudowany z układów elektronicznych, których charakterystyki mogą się zmieniać w zależności od warunków otoczenia (temperatura, ciśnienie, zanieczyszczenie powietrza). Na potrzeby niniejszej publikacji zastosowano współczynniki otrzymane eksperymentalnie na podstawie przeprowadzonych badań w basenie technologicznym Wydziału Techniki Morskiej.

WNIOSKI

W artykule opisano propozycję zmodyfikowanego protokołu komunikacji dla pojazdu podwodnego MAGIS zaprojektowanego na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie). Przedstawiono kilka fragmentów kodu w języku C, co może być użyteczne dla innych badaczy, pracujących nad podobnymi projektami.

W rzeczywistych systemach wykorzystujących układy automatyki i sterowania istotną rolę odgrywa oprogramowanie. Powszechnie wiadomo, że ma ono bardzo duży wpływ na poprawną pracę systemu. Niniejsza publikacja udowadnia, że poprawny program zdecydowanie ułatwia komunikację pomiędzy pojazdem podwodnym i jego operatorem.

PIŚMIENNICTWO

1. Graczyk T., Matejski M., Skórski W.: *New concept of an integrated ROV system for underwater inspection*, Proc. of the Third International Conference on Marine Technology ODRA 99, Szczecin, 11-13 October 1999, ed. by T.Graczyk, T.Jastrzębski, C.A.Brebbia, WITPress - Southampton & Boston, 1999, pp. 565-572.
2. Graczyk T., Matejski M., Skórski W.: *Project no PL 9409-01-03 "Coastal Monitoring – Szczecin"*, EU Phare, Cross Border Co-Operation Programme Poland-Denmark, Technical University of Szczecin, 1994-1998.
3. Jaszczak S.: *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w projektowaniu cyfrowego sterownika kursu pojazdu podwodnego*, rozprawa doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Andrzej Piegat, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2001.
4. Jaszczak S., Piegat A.: *Self learning neuro-fuzzy PID controller applied to underwater KRAB II*, Marine Technology II, Computational Mechanics Publications - Southampton & Boston, 1997, s. 437-444.

5. Kasperek T.: *Monitoring problems of regions and sites of assumed chemical ammunition submergence in the Baltic Sea* (in Polish), ZN AMW, no 1(139)/98, Gdynia 1998.
6. Matejski M., Skórski W., Graczyk T.: Technical aspects of localisation of offshore structures in the Baltic Sea, *Marine Technology II, Proc. of the Second International Conference on Marine Technology ODRA '97*, Szczecin, 13-15 May 1997, ed. by T.Graczyk, T.Jastrzębski, C.A.Brebbia, Computational Mechanics Publications - Southampton & Boston, 1997, p.483-491.
7. Skórski W., Matejski M., Graczyk T.: Baltic Sea waters measurements and modelling in aspects of post-war military residues, *Marine Technology II, Proc. of the Second International Conference on Marine Technology ODRA '97*, Szczecin, 13-15 May 1997, ed. by T.Graczyk, T.Jastrzębski, C.A.Brebbia, Computational Mechanics Publications - Southampton & Boston, 1997, p.493-501 and Sons, LTD, 2000.
8. LabWindows/CVI Programmer Reference Manual, February 1998 Edition, National Instruments.

Autorzy:

dr inż. Mariusz Dramski

Doktor nauk technicznych z dyscypliny informatyka, adiunkt w Katedrze Efektywności Innowacji na Wydziale Zarządzania i Ekonomiki Usług Uniwersytetu Szczecińskiego. Zainteresowania naukowe – sztuczna inteligencja, teoria sterowania.

dr hab. inż. Tadeusz Graczyk

Adiunkt na Wydziale techniki Morskiej ZUT. Technika głębinowa, projektowanie i budowa pojazdów głębinowych, technologia budowy okrętów. Towarzystwo Okrętowców Polskich „Korab”, Society of Underwater Technology. Dwa zaprojektowane i zbudowane systemy monitoringu głębinowego, projekty pojazdów głębinowych, granty Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

dr inż. Sławomir Jaszczak

Adiunkt na Wydziale Informatyki ZUT. Badania w zakresie sterowania pojazdami głębinowymi z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. Szybkie prototypowanie algorytmów sterowania złożonych algorytmów sterowania dyskretnego i cyfrowego, wykorzystujących metody sztucznej inteligencji na platformie wykonawczej PLC.

dr inż. Mariusz Matejski

Adiunkt na Wydziale Techniki Morskiej ZUT. Technika głębinowa, budowa i eksploatacja pojazdów głębinowych, projektowanie, budowa i eksploatacja siłowni okrętowych, transport paliw ciekłych i gazowych. Dwa zbudowane i eksploatowane systemy monitoringu głębinowego, projekty pojazdów głębinowych, zastosowanie sztucznej inteligencji w systemie sterowania pojazdem.