

Mateusz MACIAŚ
Jakub GŁÓWKA
Tomasz ROKOSZ

ZASTOSOWANIE MAGISTRALI CAN W MAŁYM ROBOCIE MOBILNYM

Streszczenie: Artykuł opisuje zastosowanie magistrali do komunikacji między elementami układu jezdnego robota MRM (małego robota mobilnego). Robot ten jest częścią projektu Proteus, czyli zintegrowanego mobilnego systemu wspomagającego działania antyterrorystyczne i antykryzysowe, realizowanego dzięki wsparciu Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Podstawowym zadaniem robota MRM będzie obserwacja niebezpiecznych terenów. Wymagana wysoka mobilność została osiągnięta poprzez zastosowanie czterech niezależnych gąsienic o zmiennej konfiguracji. W opisywanym robocie magistrala CAN jest wykorzystywana do jednoczesnego sterowania ośmioma silnikami pracującymi niezależnie. W artykule przedstawiono analizę możliwych rozwiązań komunikacji pomiędzy sterownikiem a kontrolerami silników. Następnie opisano wybrane rozwiązanie w odniesieniu do standardu CANopen. Na koniec przedstawiona jest charakterystyka zastosowanego rozwiązania oraz pierwsze wyniki testów.

Słowa kluczowe: robot, robot mobilny, mały robot mobilny, projekt PROTEUS, magistrala CAN.

1. WSTĘP

Artykuł opisuje zagadnienie zastosowania magistrali CAN w projekcie robota mobilnego o wysokim stopniu złożoności konstrukcji. Duża ilość stopni swobody, modułowa koncepcja użycia wielu czujników otoczenia oraz konieczna wysoka niezawodność rozwiązania to istotne cechy projektu które mają znaczny wpływ na zastosowaną technologię komunikacji pomiędzy poszczególnymi elementami robota.

1.1 Projekt Proteus

Projekt Zintegrowanego Mobilnego Systemu Wspomagającego Działania Antyterrorystyczne i Antykryzysowe jest wspólnym działaniem Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów oraz innych polskich ośrodków naukowo-badawczych, finansowanym w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. W ramach tych prac powstanie demonstrator systemu Proteus, przeznaczonego do wspomaganie działań w sytuacjach kryzysowych. W wyniku tego projektu, zaplanowanego na lata 2009 - 2013, powstanie zintegrowany system obejmujący:

- bezzałogowy samolot do celów zdalnego monitorowania,

- trzy roboty do różnych zastosowań,
- mobilne centrum dowodzenia.

System ma pozwolić na błyskawiczne rozpoznanie sytuacji, bieżące śledzenie jej rozwoju i szybkie podjęcie działań ratowniczych, ma spowodować ograniczenie rozmiarów kryzysu oraz zwiększenie bezpieczeństwa poszkodowanych i ratowników, którzy znajdą się w jego zasięgu.

W skład konsorcjum wykonującego projekt wchodzi: Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Centrum Badań Kosmicznych PAN, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Politechnika Poznańska, Politechnika Warszawska, Wojskowa Akademia Techniczna. [9]

1.2 Mały Robot Mobilny

Projekt Małego Robotu Mobilnego (w skrócie MRM) jest jednym z zadań wyodrębnionych w projekcie Proteus. Zgodnie z opracowanymi, wraz z użytkownikami końcowymi systemu (Państwowa Straż Pożarna oraz policja) scenariuszami zastosowania systemu Proteus podstawowe funkcje przydzielone Małemu Robotowi Mobilnemu: to wizyjne rozpoznanie terenu oraz zebranie możliwie wielu informacji zarówno z miejsc trudno dostępnych, jak i niebezpiecznych. W ten sposób główne wymagania stawiane przed MRM, które pozwalają go wyróżnić na tle innych robotów można przedstawić w następujących punktach:

- wysoka mobilność pozwalająca osiągać trudno dostępne miejsca (zawaliska, teren nieustrukturyzowany itp) ,
- wysoka odporność konstrukcji na niebezpieczne substancje oraz działanie temperatury i wody,
- duża ilość przenoszonych czujników otoczenia, z możliwością ich konfiguracji i dobierania specyficznych do danej akcji zestawów,
- niewielkie rozmiary i związany z tym stosunkowo niski koszt produkcji.



Rys.1. Mały Robot Mobilny

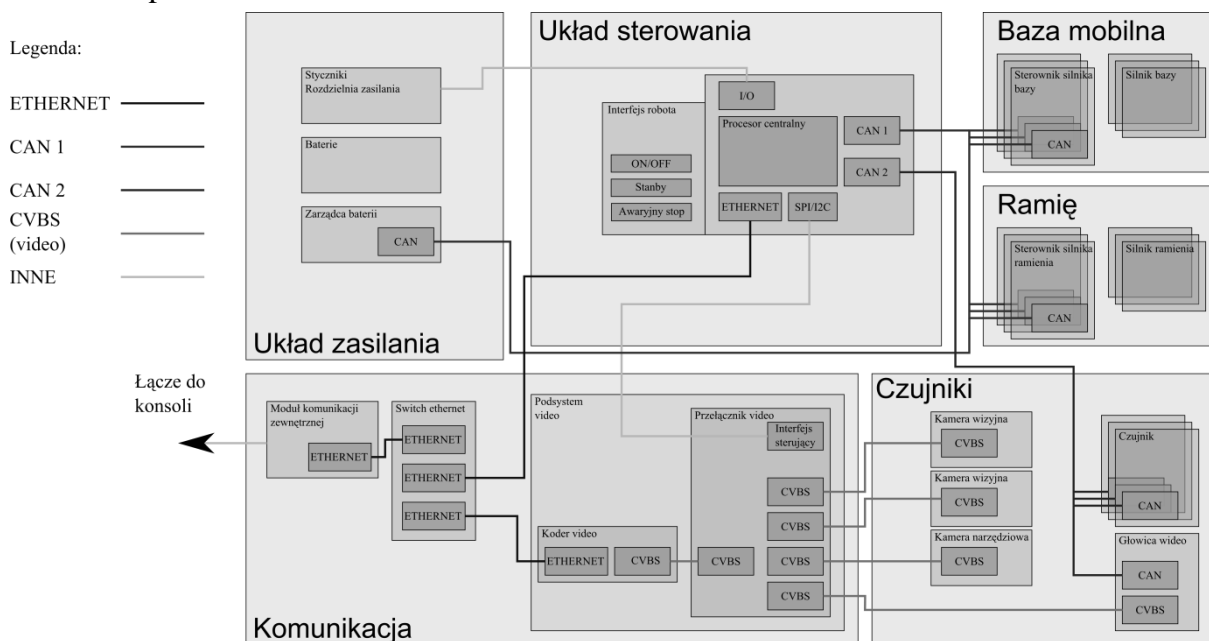
Wszystkie szczegółowe wymagania funkcjonalne i środowiskowe stawiane przed Małym Robotem Mobilnym są zebrane w opracowanym przez Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej i policję dokumencie pod tytułem Założenia Taktyczno-Techniczne systemu Proteus.

2. OPIS PROJEKTU

2.1 Budowa robota

Małego Robota Mobilnego można podzielić na kilka dużych systemów, tak jak przedstawiono to na rysunku 2.

- Baza mobilna – wymagana wysoką mobilność MRM zapewnić mają cztery ramiona z gaśnicami, które mogą się obracać wokół swojego punktu zaczepienia (patrz rysunek 1) [11]. Do napędzania ramion i gaśnic użyto ośmiu silników bezszczotkowych (MAXON EC40). Każdy z tych silników posiada swój sterownik.
- Układ zasilania – składa się z pakietu baterii, ich zarządcy oraz systemu rozprowadzania zasilania.
- Układ sterowania – główny kontroler wraz z prostym interfejsem użytkownika umieszczonym na robocie, umożliwiającym wykonywanie prostych operacji, takich jak włączenie robota czy jego awaryjne zatrzymanie.
- Komunikacja bezprzewodowa – pozwala na ustanawianie połączenia między robotem a konsolą operatora.
- Ramię – mechaniczny układ pozwalający na dotarcie czujnikami w trudno dostępne miejsca wokół robota. Do napędzania ramienia używamy czterech silników bezszczotkowych.
- Czujniki – pozwalają na badanie środowiska zewnętrznego, umieszczone są na korpusie i ramieniu.



Rys.2. Podział Małego Robota Mobilnego na systemy

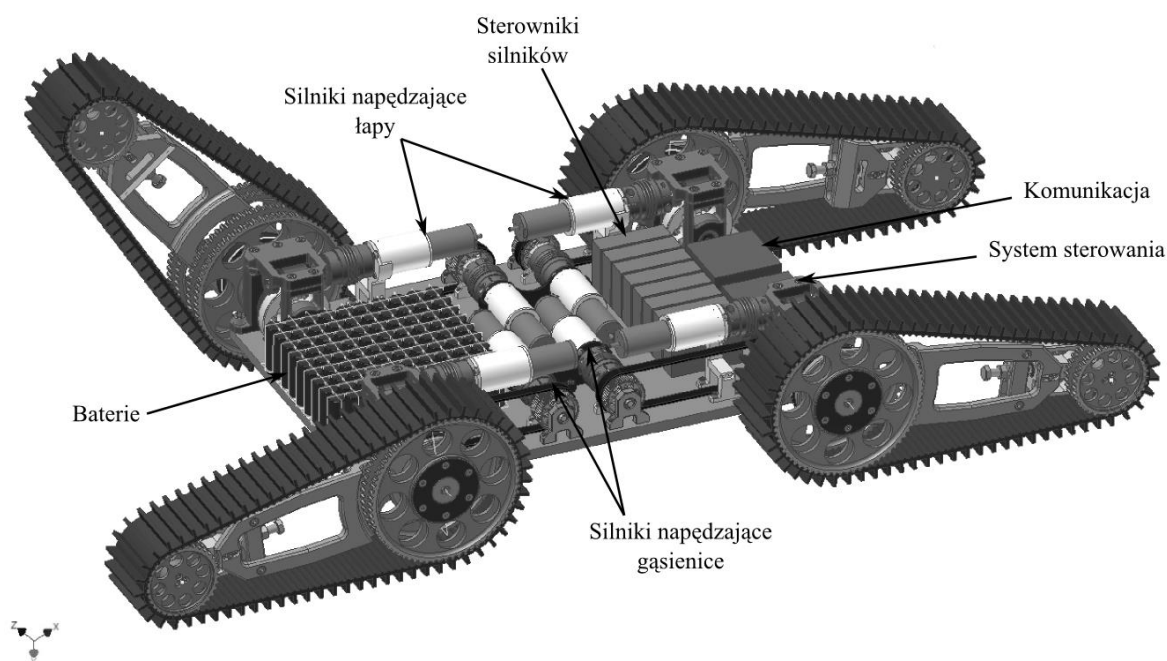
Każdy z systemów robota składa się z szeregu współpracujących ze sobą elementów lub całych podsystemów. Dodatkowym systemem jest konsola, która umożliwia zdalną operację robotem.

3. KOMUNIKACJA

Przepływ sterowania rozpoczyna się od operatora, który za pomocą konsoli przesyła bezprzewodowo komendy do robota. Komendy te są interpretowane przez kontroler robota, który przekazuje odpowiednie rozkazy do podsystemów. Informacje zebrane ze wszystkich systemów robota, odnośnie stanu systemu, jak i zebrane za pomocą czujników otoczenia, są wstępnie przetwarzane przez kontroler i wysyłane do konsoli.

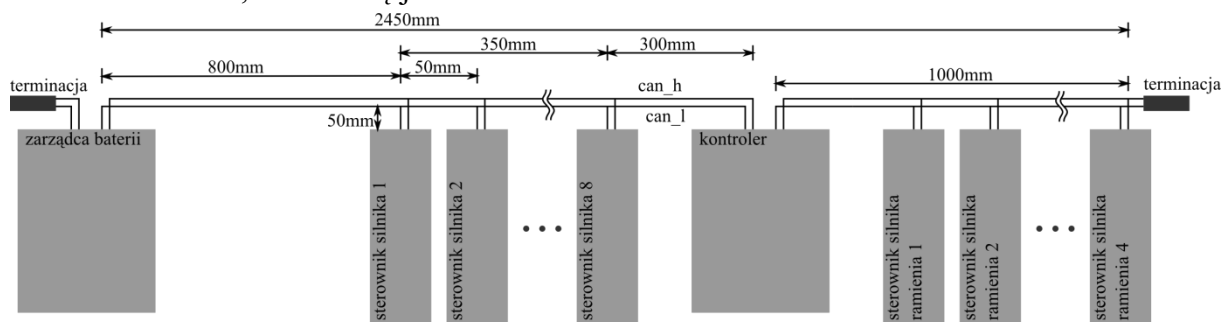
Do przesyłania danych wewnątrz Małego Robota Mobilnego wykorzystywany jest szereg magistral komunikacyjnych, jak pokazano na rysunku 2. Rozwiązanie zakłada stworzenie dwóch magistral CAN w robocie [1, 2]. Pierwsza z nich ma służyć do komunikacji pomiędzy podstawowymi układami – kontrolerem, sterownikami silników bazy mobilnej i ramienia oraz zarządcą baterii. Druga magistrala jest przeznaczona do komunikacji z czujnikami, ta magistrala jest opcjonalna i nie wymagana do tego, żeby robot mógł się poruszać. Do przesyłania obrazu z kamer wykorzystywany jest standard CVBS. Ethernet jest używany do wymiany danych pomiędzy systemem komunikacji bezprzewodowej i głównym kontrolerem robota. W ten sposób zapewniona jest zgodność pomiędzy wszystkimi robotami mobilnymi systemu Proteus, które korzystają z tego samego modułu komunikacji bezprzewodowej.

3.1 Magistrala CAN1



Rys.3. Podstawowe komponenty wewnątrz MRM

Magistrala prowadzi od zarządcy baterii do głównego kontrolera, łącząc po drodze wszystkie sterowniki silników bazy mobilnej, jak pokazano na rysunku 4. Za kontrolerem magistrala może zostać zakończona terminatorem lub prowadzić dalej do sterowników silników ramienia, o ile ramię jest zamontowane.



Rys.4. Topologia magistrali CAN1

Ze względu na wysoki poziom zakłóceń elektromagnetycznych wewnątrz obudowy robota (wprowadzanych przez sterowniki silników i same silniki), magistrala jest otoczona ekranem.

Sterowniki silników wyposażone są w mikrokontroler Stellaris® LM3S8971. Mikrokontroler ten, należący do rodziny ARM, wyposażony w rdzeń Cortex M3, ma zintegrowane peryferia umożliwiające obsługę standardu CAN. Na płycie zamontowano także układ transceivera SN65HVD230. Z punktu widzenia funkcjonalności istotne jest także zastosowanie przełączników na płycie, pozwalających na ustawianie adresu, dzięki czemu wszystkie sterowniki są identyczne i wyposażone w takie samo oprogramowanie, co umożliwia łatwą ich wymianę. [7, 8]

Kontroler główny robota wyposażony jest w mikrokontroler z tej samej rodziny co sterowniki silników, Stellaris® LM3S8970 i taki sam transceiver. Mikrokontroler głównego kontrolera wyposażony jest w peryferia umożliwiające jednoczesną obsługę trzech magistral CAN oraz portu Ethernet. [6]

Magistrala kontrolująca silniki musi być tak zaprojektowana, żeby umożliwiać niezależne zadawanie prędkości sterownikom silników, a także odbierać ich parametry. Zadawane parametry to prędkość obrotowa i maksymalny moment siły (czy też maksymalny prąd dostarczany do silnika). Odbierane informacje to między innymi aktualnie pobierany prąd i napięcie na sterowniku, prędkość, położenie, temperatura sterownika i silnika.

W warstwie łącza wykorzystano standard CAN 2.0A. Zdecydowano się na wykorzystanie protokołu CANOpen, definiującego wyższe warstwy komunikacji, poczynając od warstwy sieciowej według modelu OSI. Nie zdecydowano się jednak na implementację całych profili urządzeń zdefiniowanych przez grupę CAN in Automation, ze względu na ich duży stopień komplikacji. Nie utrudnia to procesu projektowego gdyż elementy zainstalowane w robocie nie muszą współpracować z żadnymi standardowymi komponentami. Wszystkie komponenty komunikujące się za pomocą tej magistrali są zaprojektowane i oprogramowane specjalnie dla MRM. Wiadomości z grupy SDO nie są w ogóle wykorzystywane. Wynika to z tego, że nie ma potrzeby konfigurowania elementów systemu w trakcie jego pracy – są one konfigurowane raz, na etapie programowania. [4, 5]

Wszystkie dane są przesyłane za pomocą podstawowych typów danych definiowanych przez CANOpen (głównie są to liczby całkowite bez znaku). [3]

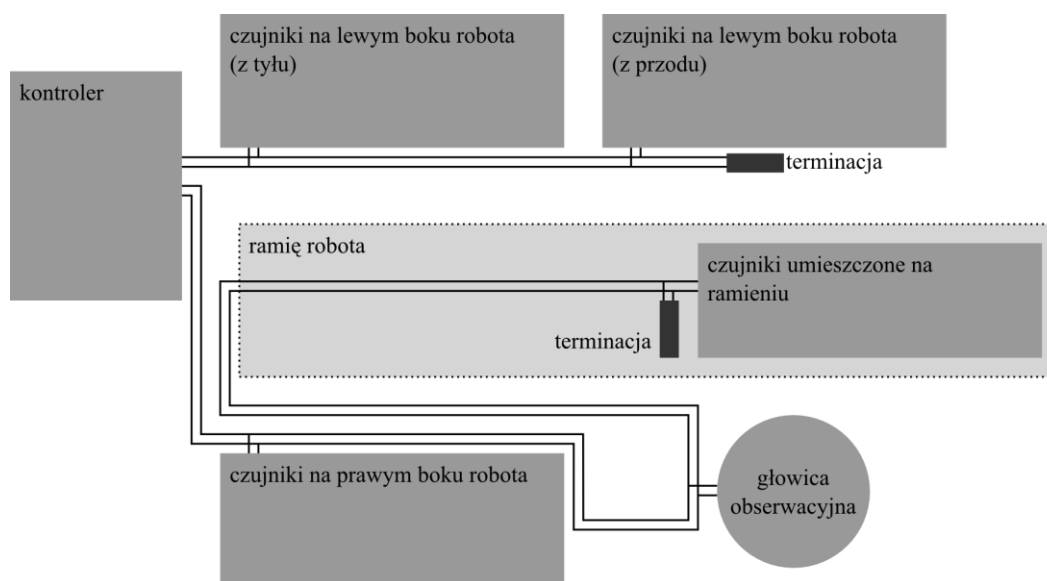
Główny kontroler odpowiada za zarządzanie urządzeniami na magistrali oraz za przesyłanie obiektów zmieniających stany wszystkich urządzeń. Obiekty błędów (EMCY) mające wysoki priorytet, pozwalają na realizację funkcji zabezpieczających. Każdy z elementów systemu może poinformować wszystkie inne o swoim błędzie, czego skutkiem może być na przykład natychmiastowe zatrzymanie robota – konkretna reakcja zależy od rodzaju błędu. Tego samego typu komunikaty są używane, zgodnie ze standardem, do odwołania stanu awaryjnego.

Zaimplementowano wysłaną przez główny kontroler wiadomość synchronizującą (SYNC). Pojawienie się takiej wiadomości powoduje wysłanie przez wszystkie sterowniki silników komunikatów o swoim stanie.

Normalna komunikacja (przesyłanie komend i odbieranie parametrów pracy) odbywa się wyłącznie za pomocą obiektów do komunikacji w czasie rzeczywistym (PDO).

Wykorzystanie magistrali typu CAN do sterowania systemem napędowym robotów mobilnych jest stosunkowo często praktykowane. Podstawowe argumenty przemawiające za takim rozwiązaniem to odporność na zakłócenia, stabilność i wysoka sprawność przesyłania komunikatów [10].

3.2 Magistrala CAN2



Rys.5. Topologia magistrali CAN2

Magistrala przedstawiona na rysunku 5 łączy wszystkie miejsca, gdzie mogą zostać zamocowane czujniki, z głównym kontrolerem. Ilość zamontowanych czujników jest zmienna, podobnie jak ich układ na robocie. Specjalny moduł zainstalowany bezpośrednio przy każdym czujniku odpowiada za tłumaczenie wewnętrznego (często zamkniętego) interfejsu danego czujnika na opracowany w ramach systemu Proteus uniwersalny interfejs. Podstawowym łączem w zaprojektowanym interfejsie jest magistrala CAN 2.0A. Protokół wyższych warstw komunikacji, który będzie użyty w magistrali CAN2 to CANopen.

Robot może przenosić następujące rodzaje czujników montowane bezpośrednio na bazie mobilnej:

- czujniki meteorologiczne – temperatura, ciśnienie, wilgotność itp.,
- moduł lokalizacyjny – podaje bezwzględną pozycję robota,
- czujnik promieniowania gamma i neutronowego,
- czujniki chemiczne – umożliwiają wykrycie obecności gazów.
- głowica obserwacyjna - jest to zestaw składający się z kamery wizyjnej, termowizyjnej oraz mikrofonu kierunkowego zamontowany na ruchomej głowicy.

Czujniki, które są montowane na ramieniu:

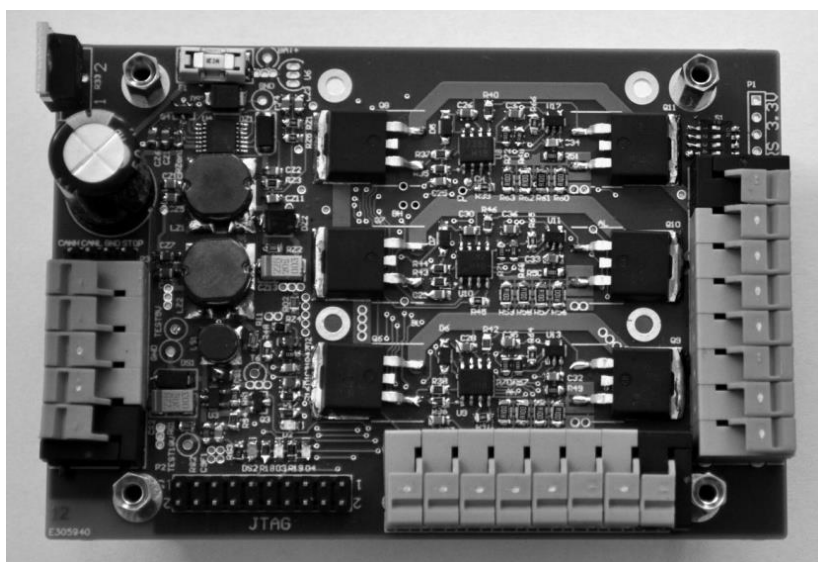
- grubościomierz,
- czujnik promieniowania beta,
- czujnik materiałów wybuchowych,
- pobierak próbek - jest to odrębny moduł służący do pobierania próbek ze środowiska w stanie stałym, płynnym lub gazowym.

Robot w zależności od wyznaczonego mu zadania jest wyposażony w odpowiedni zestaw czujników. Zamontowanie czujnika na ramieniu umożliwia użytkownikowi przeprowadzenie pomiaru w konkretnym wybranym punkcie w otoczeniu robota.

Poszczególne elementy podłączone do magistrali CAN2 są dostarczane przez różnych dostawców. Szczegółowy sposób ich działania i wymagany przepływ informacji jest w trakcie opracowywania przez konsorcjum pracujące nad projektem Proteus. Kontroler główny robota jest przystosowany do ustawiania konfiguracji konkretnego czujnika (która może obejmować tryb pracy, parametry itd.), odpytywania o aktualny wynik, jak i do cyklicznego sprawdzania statusu urządzenia i przechowywania ostatnich zmierzonych wartości. Poszczególne rozkazy zostaną zdefiniowane jako wiadomości zgodne ze standardem CANopen.

4. WYNIKI

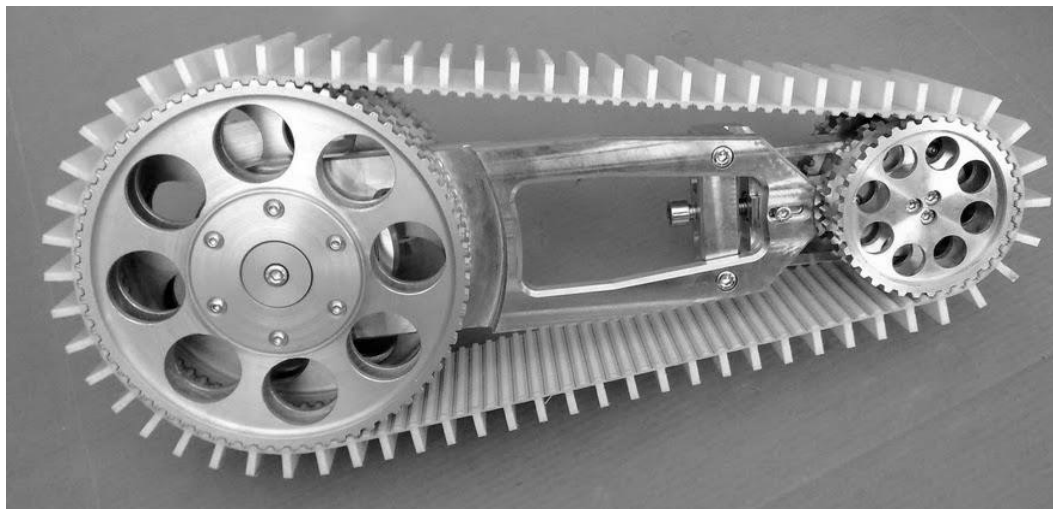
4.1 Obecny etap prac



Rys.6. Prototyp sterownika silników jezdnych

Na obecnym etapie prac gotowe są prototypy sterownika silników jezdnych pokazane na rysunku 6. Wersje uruchomieniowe tego układu pozwoliły na zestawienie i programowe

przetestowanie działania magistrali CAN1 z kontrolerem głównym oraz zestawem 8 sterowników silników. Równocześnie układ jezdny prototypu MRM jest w końcowej fazie produkcji. W pełni przygotowane jest też jedno ramię wraz z gąsienicą przedstawione na rysunku 7.



Rys.7. Prototyp ramienia napędowego

Magistrala CAN2 służąca do komunikacji z czujnikami zostanie przetestowana na późniejszej wersji kontrolera głównego, na etapie integracji systemów robota.

Uruchomiona testowa wersja kontrolera pozwoliła sprawdzić działanie magistrali komunikacyjnej Ethernet łączącej kontroler z systemem komunikacji. Użycie wstępnego oprogramowania konsoli użytkownika potwierdziło poprawne przesyłanie rozkazów i ich interpretację. W najbliższym czasie zostanie zintegrowany cały system jezdny robota i odbędą się pierwsze testy mobilności.

4.2 Przepustowość magistrali

Każdy ze sterowników silników odpowiada na wiadomość SYNC wysyłając swój status, są to dwie wiadomości po 8 bajtów danych każda. Zakładając, że silników jest maksymalnie dwanaście (osiem w bazie mobilnej i maksymalnie cztery w ramieniu), każdy silnik otrzymuje maksymalnie dwie ramki sterujące co 10ms.

Dodatkowo obecny na magistrali zarządca baterii generuje dodatkową ramkę statusu w odpowiedzi na ramkę SYNC i może otrzymywać ramki sterujące maksymalnie co 10ms.

Stosując szybkość transmisji 500kbps i ramki SYNC co 10ms, otrzymujemy zajętość magistrali na poziomie 16%, co zostawia sporo miejsca na ewentualne dodatkowe komponenty nie przewidziane na tym etapie projektu.

Na magistrali występuje do 50 różnych PDO.

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono projekt Małego Robota Mobilnego, będącego częścią systemu PROTEUS. Opisane dwie magistrale CANbus łączą podstawowe elementy robota oraz rozproszony system opcjonalnych czujników. Wykorzystanie sieci CAN2.0A oraz protokołu CANopen do kontroli sterowników silników (magistrala CAN1) zapewnia stabilną komunikację z niskimi opóźnieniami, przy jednoczesnym ograniczeniu koniecznego nakładu pracy poprzez uniknięcie konieczności zaimplementowania pełnych profili urządzeń. Użycie tego samego standardu w magistrali CAN2, przeznaczonej do systemu czujników umożliwia zsynchronizowanie interfejsu pomiędzy wieloma dostawcami elementów podłączanych do magistrali. Robot z siecią połączeń zaprojektowaną tak jak przedstawiono w artykule jest na etapie ukończenia prototypu podzespołów. Dalszy rozwój konstrukcji to integracja większej ilości elementów składowych robota, w tym tych pochodzących od innych jednostek zaangażowanych w projekt PROTEUS. Ostatnim przewidzianym etapem będzie zintegrowanie gotowego robota jako elementu składowego dużego systemu wspomagania jakim jest PROTEUS.

6. LITERATURA

- [1] ISO 11898-1:2003 Road vehicles - Controller area network (CAN) - Part 1: Data link layer and physical signalling.
- [2] ISO 11898-2:2003 Road vehicles - Controller area network (CAN) - Part 2: High-speed medium access unit.
- [3] CiA Draft Standard 301 <http://www.can-cia.org>, 2010
- [4] PN-EN 61800-7-201:2008 Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości – Część 7-201: Rodzajowy interfejs i zastosowanie typowych modeli w układach napędowych mocy – Charakterystyki typowych układów napędowych mocy – Specyfikacja typu 1.
- [5] PN-EN 61800-7-301:2008 Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości – Część 7-301: Rodzajowy interfejs i zastosowanie typowych modeli w układach napędowych mocy – Odwzorowanie typu 1 w sieciach komunikacyjnych.
- [6] Texas Instruments Stellaris® LM3S8970 Microcontroller Data Sheet.
- [7] Texas Instruments Stellaris® LM3S8971 Microcontroller Data Sheet.
- [8] Texas Instruments SN65HVD230 3.3V Can Transceiver Data Sheet.
- [9] Strona internetowa projektu PROTEUS <http://www.projektproteus.pl>, 2010
- [10] Chen H. J., Gao B. T., Zhang X. H., Deng Z. Q.: Drive Control System for Pipeline Crawl Robot Based on CAN Bus, 2006 Journal of Physics: Conference Series 48, 1233, doi: 10.1088/1742-6596/48/1/229.
- [11] Okada Y., Nagatani K., Yoshida K.: Semi-autonomous operation of tracked vehicles on rough terrain using autonomous control of active flippers, Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ international conference on Intelligent robots and systems, strony: 2815-2820, ISBN:978-1-4244-3803-7.

APPLICATION OF CAN BUS TECHNOLOGY FOR SMALL MOBILE ROBOT

Abstract: This article describes application of CAN bus for communication between components of driving system of MRM (small mobile robot). This robot is developed as a part of the project Proteus - integrated mobile system for counterterrorism and rescue operations. Main application for designed robot is observation and recognition operations in hazardous environment. Required high mobility of the robot is achieved by four independent and configurable tracks. CAN bus is used for simultaneous control of eight electric engines. In the article analysis of possible solutions for communication between controller and engine drivers is shown. Chosen solution is described in relation to CANopen standard specification. Final paragraph presents characteristic of applied communication and summary of the results from first tests.

Recenzent: dr inż. Zbigniew RACZYŃSKI – OBRUM sp. z o.o., Gliwice