

Damian **BERESKA**
Radosław **BALCEWICZ**
Maciej **GARCZYŃSKI**

IMPLEMENTACJA MAGISTRALI CAN I PROTOKOŁU CANOPEN W ROBOCIE EDUKACYJNYM

Streszczenie: W artykule przedstawiono implementację magistrali CAN i protokołu CANopen w układzie sterowania robota edukacyjnego o sześciu stopniach swobody, będącego na wyposażeniu laboratorium robotów przemysłowych Zakładu Sterowania i Robotyki Politechniki Śląskiej. Opisywany układ sterowania został zaprojektowany z uwzględnieniem szczególnych wymagań stawianych stanowiskom dydaktycznym. Cała logika robota została skupiona w sterowniku PLC programowanym zgodnie z normą IEC 61131, wyposażonym w interfejs CAN oraz protokół CANopen. Dla potrzeb robota zostały zaprojektowane moduły we/wy CANopen z enkoderów inkrementalnych, oraz moduły CANopen do sterowania silnikami krokowymi z rozbudowaną kontrolą wyłączników krańcowych. W pracy przedstawione zostały: architektura sprzętowa, opis oprogramowania, a także aspekty dydaktyczne zastosowanego rozwiązania. Wnioski końcowe zawierają podsumowanie wdrożenia projektu, analizę kosztów przyjętego rozwiązania oraz ocenę wartości dydaktycznej na podstawie przeprowadzonych zajęć laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: magistrala CAN, sterownik PLC, układ sterowania robota.

1. WPROWADZENIE

Przedmiotem artykułu jest opis prac, jakie zrealizowano przy przebudowie stanowiska robota L1, będącego na wyposażeniu laboratorium podstaw robotyki Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej. Celem tych działań była modernizacja stanowiska i podniesienie jego możliwości edukacyjnych.

Robot edukacyjno-przemysłowy L1 jest wyposażony w manipulator o sześciu stopniach swobody. Trzy pierwsze człony manipulatora są członami przesuwными, skonfigurowanymi w układ kartezjański, a trzy kolejne stopniami obrotowymi tworzącymi kiść robota zakończoną chwytakiem. Manipulator podczas pracy przemieszcza się nad stołem roboczym, który stanowi jednocześnie podstawę części mechanicznej robota (rys.1).



Rys.1. Widok zmodernizowanego stanowiska robota L1

Urządzenie napędzane jest silnikami krokowymi. Specyfika pracy takich silników umożliwia zastosowanie prostego sterowania w torze otwartym. Fakt ten został wykorzystany w pierwotnie zastosowanym układzie sterowania robota.

Omawiany układ sterowania robota L1 składał się z dwóch części: komputera sterującego klasy PC oraz kasy sterującej, w której znajdowały się moduły zadajników oraz wzmacniacze mocy. Komputer sterujący miał zainstalowane oprogramowanie pracujące pod kontrolą systemu MS-DOS, z zaimplementowanym interpreterem specyficznego języka, podobnego składnią do LOGO. Wyposażony był także w dwa porty szeregowy RS-232 do komunikacji z zadajnikami silników [1] oraz przejściówkę podłączaną do portu LPT zapewniającą kontrolę nad chwytakiem. Oprogramowanie generowało odpowiednie komendy dla zadajników, z których każdy kontrolował ruch trzech osi manipulatora. Zadajniki przetwarzały komendy na sygnały dla sześciu wzmacniaczy końcowych, zadaniem których było wysterowanie uzwojeń silników krokowych. W ten sposób komenda sterująca zamieniana była na ruch odpowiedniego członu robota.

2. MODYFIKACJA STANOWISKA DYDAKTYCZNEGO

Jak zaznaczono we wstępie, oryginalna konstrukcja układu sterowania robota nie przewidywała wykorzystania sprzężenia zwrotnego od położenia osi silników napędowych. Z tego powodu nawet chwilowe zablokowanie zdolności ruchu ramienia (np. w wyniku zacięcia narzędzia lub błędu w programie) skutkowało przejściem do stanu nieustalonego, który wymagał ponownego pozycjonowania ramienia oraz uruchomienia wykonywanego programu od początku. Jedynym zabezpieczeniem poprawnego działania maszyny był ciągły nadzór operatora. Jego ewentualna reakcja w sytuacji awaryjnej często sprowadzała się do odłączenia źródła zasilania.

W wyniku przeprowadzonych konsultacji podjęta została decyzja o unowocześnieniu stanowiska, z określeniem następujących wymogów i założeń:

- ingerencja w część mechaniczną robota powinna być minimalna,
- należy wykorzystać istniejące wzmacniacze końcowe silników,
- sterowanie ma zostać oparte o nowoczesny sterownik przemysłowy PLC,
- środowisko programistyczne sterownika musi umożliwiać prowadzenie zajęć dydaktycznych,
- wprowadzone zmiany muszą uwzględniać specyficzne wymagania stawiane urządzeniom, z którymi pracują ludzie niedoświadczeni,
- system powinien umożliwiać rozbudowę o dodatkowe komponenty.

Dodatkowo modernizacja stanowiska musi poprawić poziom bezpieczeństwa obsługi oraz ograniczyć lub wyeliminować sytuacje, w których nieprawidłowe wysterowanie mogłoby doprowadzić do uszkodzenia. Ponadto musi swoją konstrukcją nawiązywać do rozwiązań stosowanych w układach automatyki przemysłowej – tak, aby zdobyte przez studentów doświadczenie mogło być w przyszłości wykorzystane w pracy zawodowej.

3. REALIZACJA ZADANIA

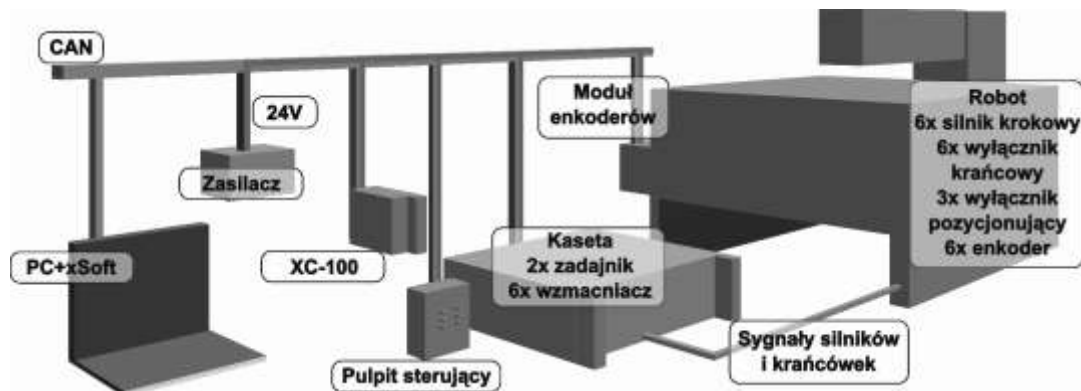
Po uwzględnieniu wszystkich stawianych wymagań oraz mając na uwadze ograniczony budżet projektu, jako rozwiązanie docelowe wybrano układ sterowania, którego elementy komunikują się ze sobą poprzez magistralę CAN.

Zaproponowano następujące elementy składowe zrealizowanego układu sterowania:

- sterownik przemysłowy XC-100 firmy Moeller,
- zintegrowane środowisko programistyczne Xsoft,
- biblioteki obsługi robota z otwartym kodem źródłowym,
- szyna danych CAN łącząca sterownik z częścią wykonawczą, z zastosowaniem CANopen jako warstwy spinającej komponenty stanowiska.

Przewidziano także następujące modyfikacje poszerzające funkcjonalność stanowiska robota L1:

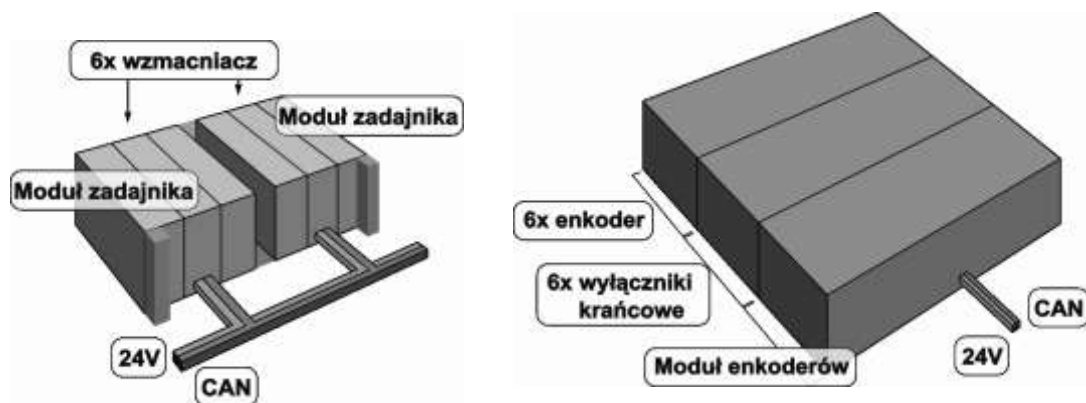
- uzupełnienie mechanicznej części robota o enkodery na osiach silników,
- zabudowa elementów systemu sterowania na standardowym stojaku przemysłowym,
- sprzętowe zabezpieczenie przed próbami przesunięcia manipulatora poza obszar pracy.



Rys.2. Schemat logiczny stanowiska robota L1

3.1. Komponenty systemu

- **moduł enkoderów** - realizuje funkcje sześciu urządzeń logicznych, widocznych dla sterownika PLC jako niezależne porty I/O. W celu zredukowania okablowania, które musi podążać za ramieniem, zastosowano centralkę zbierającą sygnały z enkoderów i wyłączników krańcowych. Sam moduł został zamontowany na podstawie robota, natomiast zasilanie komponentu jest zrealizowane przez wolne żyły kabla magistrali CAN.
- **moduły zadajników** - podobnie jak w rozwiązaniu przed modernizacją zastosowano dwa zadajniki, przy czym każdy z nich realizuje funkcje trzech urządzeń logicznych. Takie rozwiązanie pozwoliło na zabudowę zadajników w kasecie wzmacniaczy i ograniczyło ingerencję w jej układ elektryczny do minimum. Zasilanie zapewniają same wzmacniacze, przystosowane do współpracy z cyfrowymi systemami sterowania. Wiązki przewodów silników robota pozostały niezmienione, wykorzystano jedynie pozostałe wolne pary do podłączenia dodatkowych wyłączników krańcowych. Okablowanie to jest niezależne od magistrali CAN.



Rys.3. Struktura i rozmieszczenie modułów układu sterowania robota L1

- **sterownik PLC** - sterownik XC-100 jest przymocowany do listwy montażowej na stojaku. Takie rozwiązanie umożliwia łatwy dostęp do złącz i wyłączników na jego obudowie. Podyktowane jest także koniecznością podłączenia do sterownika magistrali CAN, zasilania oraz kabla umożliwiającego modyfikowanie programu PLC ze środowiska uruchomieniowego. Dodatkowym osprzętem sterownika są dwa przekaźniki, sterowane bezpośrednio z wyjść na jego płycie czołowej, służące do obsługi chwytaka zamocowanego na ramieniu robota. Chwytnik jest elementem opcjonalnym i wymaga osobnego źródła zasilania.
- **zasilacze i przekaźniki** - główna listwa 220V wraz z zasilaczami niskonapięciowymi oraz przekaźniki chwytaka są umiejscowione na stojaku w okolicy sterownika.
- **pulpit sterujący, wyłącznik bezpieczeństwa** - pulpit jest osobnym modulem podpiętym do magistrali CAN. Wyposażony został w zestaw przełączników i lampek sygnalizacyjnych, zaś jego oprogramowanie leży w gestii programisty piszącego aplikację PLC. Przykładowo pulpit można wykorzystać jako kontroler w trybie pracy ręcznej manipulatora. Wyłącznik bezpieczeństwa jest także elementem logicznym. By uniknąć sytuacji, gdzie brak jego obsługi byłby zagrożeniem dla operatora lub sprzętu, wciśnięcie przycisku jest także interpretowane przez zadajniki silników, które są w stanie natychmiast przerwać pracę i zatrzymać robota.
- **komputer PC** - komputer z zainstalowanym oprogramowaniem XSoft, pozwalającym w łatwy sposób zaprojektować aplikacje dla sterownika PLC. XSoft - dedykowana wersja oprogramowania CodeSys - zapewnia pełną kontrolę nad procesem wdrażania oprogramowania, dzięki zintegrowanemu edytorowi i debuggerowi ze zdolnością śledzenia stanu sterownika w czasie rzeczywistym [2]. Komputer może być także wykorzystany jako platforma do wizualizacji realizowanego procesu.

Taka koncepcja umieszczenia komponentów oraz sposób ich zasilania, pozwoliła na połączenie części mechanicznej i sterującej robota pojedynczą wiązką przewodów.

Wykorzystano do tego celu kabel ekranowany z żyłami o grubości gwarantującej poprawną transmisję i zapewniającej pomijalny spadek napięcia na liniach zasilających. Zakończenia kabla są wykonane zgodnie z przyjętymi standardami transmisji CAN w oparciu o złącza D-SUB, mocowane śrubami do gniazd [3]. Wybór medium jest o tyle istotny, że w warunkach zajęć laboratoryjnych połączenia te są narażone na przypadkowe szarpnięcia czy przygniecenia ze strony niedoświadczonej obsługi stanowiska.

3.2. Struktura logiczna

Komunikacja między sterownikiem XC-100 i elementami systemu została zrealizowana w oparciu o protokół CANopen [4]. Z punktu widzenia PLC zewnętrzne moduły są widoczne jako wirtualne porty I/O, z których korzysta się w ten sam sposób co z portów fizycznych. Wymianę danych zapewnia cykliczny obieg pakietów CAN, odbywający się bez udziału i ingerencji aplikacji użytkownika. Przygotowanie systemu do pracy ogranicza się do wczytania odpowiedniego pliku konfiguracyjnego dla każdego logicznego elementu, z którego programista zamierza skorzystać – wymagana jest jedynie znajomość ich adresów, które dla uproszczenia są powiązane z numeracją silników robota.

Aby umożliwić szybkie i sprawne prowadzenie zajęć z grupami studentów o różnym stopniu zaawansowania, powstała biblioteka procedur dla PLC przyspieszająca tworzenie aplikacji sterującej. Ponieważ ćwiczenia z robotem edukacyjnym są też często pierwszym kontaktem ze sterownikiem przemysłowym, procedury zostały podzielone na niski- i wysokopoziomowe. Dzięki tym pierwszym można logicznie połączyć sterowanie silnika z odczytem enkodera, zaś te drugie emulują funkcjonalność języka sterującego ruchem robota, który był stosowany w oryginalnym rozwiązaniu. Należy tu podkreślić iż obie warstwy są oparte o ten sam kod co główna aplikacja PLC i mogą być dowolnie modyfikowane, w zależności od potrzeb, także przez studentów w ramach zajęć. Jest to więc połączenie trzech elementów dydaktycznych w jednym projekcie: kontroli nad robotem, sterownika PLC, oraz protokołu CANopen i magistrali CAN – z których każde może być przedmiotem zajęć i wymaga jedynie minimalnego przygotowania teoretycznego.

Zakładając wykorzystanie bibliotek, do dyspozycji programisty są następujące struktury i sygnały sterujące:

enkoder

- odczyt pozycji względnej,
- licznik położenia bezwzględnego,
- sygnał zerowania licznika,

silnik

- wybór kierunku ruchu,
- zadanie prędkości ruchu,
- sygnał ograniczenia prądu uzwojeń,
- odczyt stanu wyłączników krańcowych,

chwytak

- sygnał otwarcia/zamknięcia,
- potwierdzenie wykonania.

Dzięki wbudowanym w CANopen mechanizmom ochrony, przypadkowe odłączenie któregoś z elementów systemu jest natychmiast wykrywane i sygnalizowane. Już sam ten fakt stanowi o znaczącej poprawie parametrów stanowiska w stosunku do jego pierwotnej wersji.

Rozwiązanie polegające na zamknięciu pętli sprzężenia zwrotnego między silnikiem a czujnikiem pozycji przez program PLC nie jest często spotykane, ale stanowi doskonałe

narzędzie dydaktyczne i w tym wypadku jest niewątpliwą zaletą systemu. Umożliwia zrozumienie i przeciwdziałanie problemom związanym z opóźnieniami w reakcji na sygnały sterujące – wynikające ze skończonej prędkości transmisji pakietów, ale także z bezwładności samego robota, która się zmienia w zależności od obciążenia ramienia.

4. WNIOSKI

Pomimo znaczących różnic pomiędzy pierwotną a zmodyfikowaną wersją układu sterowania, zajęcia z robotem przebiegają bez problemów. Przejrzyste, nowoczesne środowisko i zastosowanie standardowych rozwiązań przyczyniło się wręcz do wzrostu zainteresowania ćwiczeniem ze strony studentów. W związku z powyższym pojawiły się pomysły dalszej rozbudowy stanowiska, m.in. o:

- bezprzewodowy układ zdalnego sterowania,
- moduł komunikatów głosowych (ostrzegawczych, informacyjnych),
- czujnik nacisku w chwytaku.

Magistrala CAN, a w szczególności otwarty protokół CANopen, jest niestety ciągle słabo rozpoznawany i traktowany nieco „po macoszemu” przez uczelnie wyższe. Jest to o tyle dziwne, że stanowi przecież doskonałą i darmową alternatywę w stosunku do zamkniętych i niekompatybilnych ze sobą rozwiązań stosowanych dotąd w przemyśle. Wykorzystanie w omówionym projekcie sterownika PLC i dopasowanie wymaganych elementów współpracujących z nim byłoby niewykonalne, gdyby możliwe było wykorzystanie jedynie gotowych produktów. Jak uczy doświadczenie, stworzenie systemu sterowania nie powinno ograniczać się jedynie do wybierania gotowych „klocków” z oferty producenta, po cenie i przy odgórnie narzuconych parametrach. Umiejętność zaprojektowania i wykonania urządzeń wykonawczych powinna być równie istotna, co zdolność do oprogramowania samego sterownika PLC – ostatecznie wyzwaniem są przecież problemy, których nie da się rozwiązać klasycznymi metodami lub przynajmniej nie w rozsądnym przedziale cenowym.

5. LITERATURA:

- [1] isert-electronic: Interface-karte 4.0 – in Positionier + Koordinatensteuerungen, 1988.
- [2] Dokumentacja oprogramowania Xsoft.
- [3] CAN specification Version 2.0 Robert Bosch GmbH, 1991.
- [4] CiA Draft Standard 301 - CANopen Application Layer and Communications.

IMPLEMENTATION OF CAN BUS AND CANOPEN PROTOCOL IN EDUCATIONAL ROBOT

Abstract: This paper presents the implementation of CAN bus and CANopen protocol in educational, six degree of freedom robot - a property of Institute of Automatic Control at Silesian University of Technology. It's control system has been designed with the specific requirements of teaching purposes in mind and system logic was based on CAN-equipped PLC, programmed in accordance with IEC 61131 standard. To suit project needs, several I/O modules were designed and made to allow the instalation of incremetal encoders and limit switches. The paper covers hardware architecture, software description and didactic aspects of applied solution. Final conclusions include a summary of the project implementation, a cost analysis of the chosen solution and evaluation of the it's usefulness in teaching classes.

Recenzent: dr hab. inż. Gabriel KOST, prof. Politechniki Śląskiej