

Zaawansowane wieloosiowe systemy sterowania silnikami

Leszek A. Szalek
CEO, Cito Systems, Santa Clara, CA, USA

W teorii regulacji układy regulacji nadążnej położenia stosowane w automatyzacji elementów mechanicznych określane są mianem serwomechanizmów, natomiast popularnie nazywane są układami sterowania ruchem (ang. *motion control*). Różne mechanizmy mogą być napędzane siłownikami pneumatycznymi, hydraulicznymi lub silnikami elektrycznymi. Te ostatnie znajdują najszersze zastosowanie ze względu na ich koszt i łatwość użycia, a dzięki wysoko wydajnym stopom materiałów magnetycznych posiadają coraz większy współczynnik dostarczonej mocy w stosunku do masy własnej. Ponadto eliminują one konieczność stosowania pomp pneumatycznych lub hydraulicznych.

Do sterowania silników używa się mikroprocesorowych układów regulacji, które bezpośrednio sterują układami serwonapędów zwanych też serwowzmacniaczami. Serwonapędy przetwarzają sygnał sterujący niskiej mocy na sygnał prądowy, którego poziom zależy od aktualnego obciążenia wałów silników. Dostarczają one również odpowiedniego napięcia regulującego szybkość obrotów silnika. Obecnie najpowszechniej stosowanymi rozwiązaniami realizującymi algorytmy regulacji są układy DSP, które wsparte przez odpowiednie układy wejścia-wyjścia pozwalają realizować wysoko zaawansowane wieloosiowe systemy sterowania. Systemy te, dzięki cenowej przystępności, oferowanym możliwościom i coraz większej łatwości implementacji znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach, w których automatyzacja bądź w ogóle nie występowała (np. medycyna), bądź stosowano rozwiązania czysto mechaniczne (np. przemysł maszyn drukarskich). Stosowanie takich właśnie rozwiązań wymuszają przede wszystkim same aplikacje, w których precyzja i stopień komplikacji sterowania, a także korzyści wynikające z elastyczności oprogramowania odgrywają istotną rolę.

Amerykańska firma Cito Systems oferuje serię kompatybilnych ze sobą układów regulacji spełniających wymogi większości aplikacji. Są to karty komputerowe działające na magistralach PCI, PC/104 oraz ISA (Zdj. 1) lub



Zdjęcie 1. Zestaw kart sterujących na magistralach ISA, PCI i PC/104.

przez łącze RS-232/RS-485 oraz zintegrowane systemy pracujące samodzielnie w sieciach komputerowych. Karty komputerowe znajdują zastosowanie w projektach, w których dodatkowy sprzęt pomiarowy musi być zintegrowany w tym samym komputerze sterującym lub gdy koszt projektu wskazuje na takie właśnie rozwiązanie. Niemniej zarysowuje się silny trend w kierunku rozwiązań sieciowych, co wynika z kilku, często współwystępujących, czynników [1]: konieczności zastosowania dużej liczby układów sterujących, lokalizacji sterownika, która nie pozwala na inne rozwiązanie lub ograniczenia liczby przewodów łączących przez dostępną przestrzeń.

W dziedzinie automatyki stosuje się kilka różnych systemów sieciowych, z których najpopularniejsze są Ethernet, CANopen, DevicNet, Modbus i Profibus. Spośród wymienionych najszersze zastosowanie ma Ethernet [1][2]. Nie wchodząc w zalety i wady każdego spośród wymienionych systemów sieciowych, zauważmy, że jedynym „zarzutem” wobec Ethernetu jest niedeterministyczny czas przesyłania informacji. Jednak odpowiednio zaprojektowane systemy sterujące pozwalają zneutralizować ten czynnik. Wkrótce przestanie on odgrywać rolę, gdyż Institute of Electrical and Electronics Engineers zatwierdził w listopadzie 2002 r. standard IEEE 1588 definiujący Ethernet czasu rzeczywistego [3], a kilka firm już pracuje nad rozwiązaniami spełniającymi jego wymogi [4].

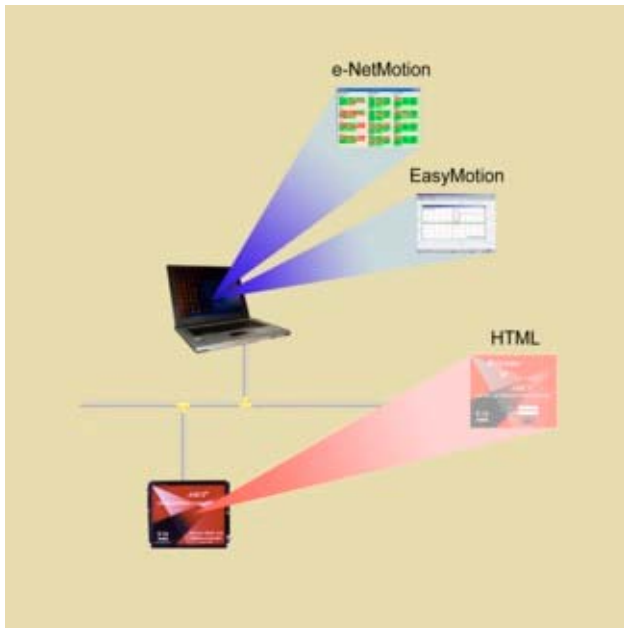
Wychodząc naprzeciw wspomnianemu trendowi, firma Cito Systems wypuściła na rynek samodzielnie działający układ sterowania funkcjonujący w sieci Ethernet. Zaproponowane urządzenie - system AMCS® ([wym. eimaks]; *Advanced Motion Control Server*) (zdj. 2) wyprzedza rozwiązaniami



Zdjęcie 2. Zaawansowany system sterowania silnikami AMCS®.

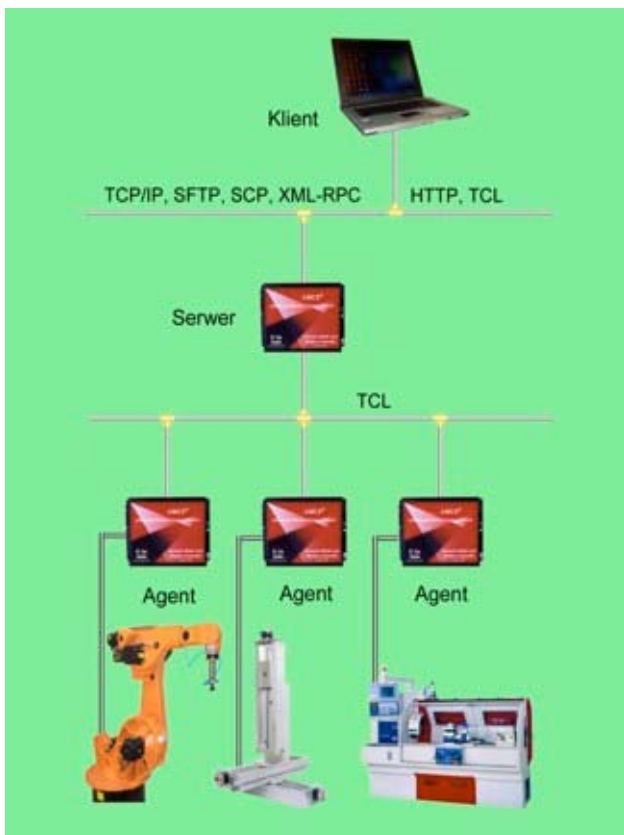
konwencjonalne sterowniki sieciowe. Jest to zaawansowany serwer przeznaczony do sterowania serwonapędami silników szczotkowych lub bezszczotkowych prądu stałego oraz silników krokowych i mikrokrokowych napędzających dowolne mechanizmy.

AMCS® jest w pełni wyposażonym serwerem sieciowym zintegrowanym z wieloosiowym sterownikiem ruchu w bardzo zwartej obudowie. Posiada on ogromne możliwości



Rysunek 1. Przykładowe realizacje interfejsów graficznych systemu AMCS®.

związane z komunikacją sieciową, w tym Internet, i jednocześnie funkcjonuje niezależnie w oparciu o własny system operacyjny. Serwer jest dostępny zarówno poprzez graficzny interfejs opracowany w HTML, jak i przez aplikacje klienckie (rys. 1). Urządzenia wykorzystujące

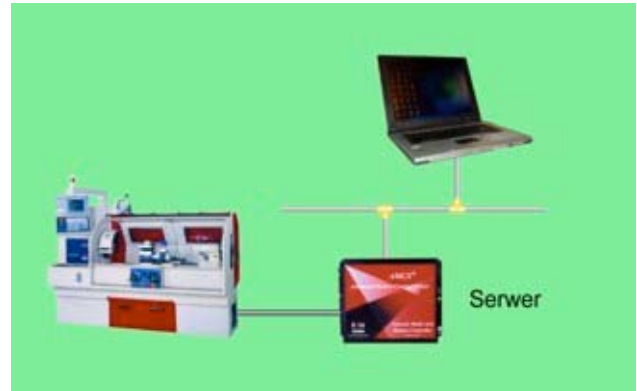


Rysunek 2. System AMCS® w hierarchicznej konfiguracji klient-serwer-agent.

AMCS® mogą być sterowane i monitorowane z dowolnego miejsca globu poprzez ogólnosiwiatową sieć komputerową.

Nadaje się on idealnie do zastosowań w przemyśle robotów, obrabiarek, przemyśle tekstylnym, medycznym, półprzewodnikowym i automatyzacji linii produkcyjnych oraz do urządzeń wykorzystywanych w badaniach naukowych.

AMCS® pracuje w architekturze sieciowej klient-serwer z dodatkową możliwością tworzenia lokalnych podsięci w przypadku łączenia większej liczby układów sterowania. W tym ostatnim przypadku sterowniki pracują w hierarchicznej konfiguracji serwer-agent (rys. 2). Serwer, w odróżnieniu od agenta, jest wyposażony w dodatkowe oprogramowanie



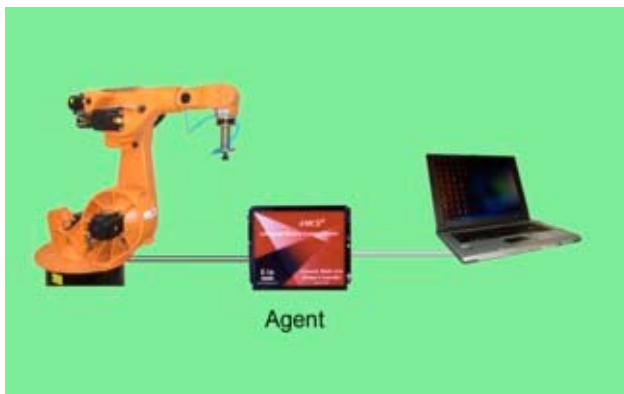
Rysunek 3. System AMCS® w konfiguracji klient-serwer.

systemowe i jest urządzeniem nadrzędnym nad grupą agentów. Zarówno serwer (rys. 3), jak i agent (rys. 4) mają możliwość bezpośredniego sterowania napędami silników.

Zdalna komunikacja z serwerem zapewniona jest przez połączenie w sieci Ethernet i dodatkowo przez porty szeregowo RS-232 i RS-485. Logowanie się do serwera, przesyłanie komend i danych odbywa się poprzez protokół XML-RPC. Natomiast ładowanie programów i plików oraz aktualizacja oprogramowania systemowego odbywa się przez bezpieczny protokół przesyłania plików SFTP (*Secure File Transfer Protocol*) lub SCP (*Secure Copy Protocol*). Oprogramowanie układu udostępnia sieciowy serwer HTTP. Dzięki temu niezależnie od aplikacji klienckiej dostęp do układu w sieci Internet zapewniony jest również przez GUI opracowane w języku HTML. Transfer danych między serwerem a agentami odbywa się poprzez interpreter TCL, natomiast między serwerem a hostem — z wykorzystaniem standardu XML i interpretera TCL. Jest to dodatkowa opcja umożliwiająca łatwą realizację wyspecjalizowanych interfejsów przez samych użytkowników.

Do realizacji algorytmów sterowania silnikami sterownik wykorzystuje układy DSP i ASIC. W pętli sprzężenia zwrotnego został zastosowany zaawansowany układ regulacji PID ze współczynnikami regulującymi wyprzedzenie prędkości i przyspieszenia, składową stałą oraz 32-bitowym współczynnikiem błędu położenia. Generator trajektorii może ustawiać następujące profile ruchu: ze zmiennym przyspieszeniem, trapezowy, prędkościowy i przekładni elektronicznej. Osie mogą być programowane niezależnie lub synchronicznie i mogą pracować w trybie pętli otwartej lub zamkniętej. Funkcje ruchu umożliwiają między innymi interpolację liniową i kołową, przemieszczenie od punktu do punktu lub po zadanym konturze, kompensację luzów, szybkie posuwy i procedury bazowania.

W wersji podstawowej układ może sterować 4 silnikami z możliwością zwiększenia ich liczby do 32. Wyjścia sterujące silnikami zadają sygnał analogowy w zakresie $\pm 10V$ z rozdzielczością 16 bitów lub sygnał cyfrowy PWM z



Rysunek 4. System AMCS® w konfiguracji klient-agent.

rozdzielczością 10 bitów. Sygnał sprzężenia zwrotnego może być pobierany bezpośrednio z enkoderów obrotowo-impulsowych lub kodowych, lub z interferometrów laserowych. Układ ma 8 wejść TTL i 8 optoizolowanych wyjść TTL, które są zrównoleżone z cyfrowymi wyjściami mocy dostarczającymi maksymalny prąd 350mA przy napięciu 50V. Dodatkowo ma 8 wejść analogowych pracujących w zakresie 0-5V z możliwością rozszerzenia zakresu po dołączeniu dodatkowego modułu. Lokalna pamięć zapewnia zbieranie danych i parametrów ruchu silników w czasie rzeczywistym.

W celu uniknięcia niepożądanych sytuacji typowych dla aplikacji sterowania silnikami AMCS® ma wbudowane sprzętowe mechanizmy zabezpieczające. Są to specjalizowane, przypisane dla każdej osi, optoizolowane wejścia dla sygnałów z czujników krańcowych i bazowych oraz sygnałów błędów i aktywacji między napędami silników a sterownikiem. W przypadkach, gdy błąd położenia przekracza zadaną wartość, generator trajektorii ruchu automatycznie odcina sygnał sterowania silnikami w celu ich natychmiastowego zatrzymania. Ponadto programowalny układ nadzoru (ang. *watchdog*) wykrywa błędne zachowanie oprogramowania, powodując inicjalizację systemu. W przypadku spadku napięcia zasilania poniżej poziomu 4,625V obwód śledzący napięcie generuje sygnał reset inicjalizujący cały układ. Sterownik można również inicjalizować programowo albo zewnętrznym obwodem lub przyciskiem.

Wbudowany Program Manager zarządza wszystkimi programami sterującymi. Tworzy wielozadaniowe środowisko do równoległego wykonywania, zatrzymywania i wznawiania programów. Zawiera on również informacje o aktualnie załadowanych i wykonywanych programach. System plików umożliwia trwale przechowywanie danych i parametrów.

AMCS® jest wspomagany przez programy e-NetMotion™ i EasyMotion™ napisane w języku Java. Aplikacja kliencka e-NetMotion™ jest graficznym interfejsem umożliwiającym zarządzanie strukturą serwerów i agentów, administrowanie kontami użytkowników, udostępnia też układy sterowania w zależności od poziomu uprzywilejowania użytkownika. Ponadto służy do bezpiecznego logowania się do systemu,

przesyłania danych, programów i komend, a także do zdalnego monitorowania aktualnego stanu wszystkich sterowników w sieci. Aplikacja graficzna EasyMotion™ to programowy asystent ułatwiający szybkie zestawienie, skonfigurowanie i uruchomienie nawet złożonych systemów elektromechanicznych.

Układ sterowania programuje się za pomocą powszechnie stosowanych w przemyśle standardów i języków. Dzięki temu nie wymaga on zaawansowanej wiedzy programistycznej. Wbudowane interpretery umożliwiają pisanie programów sterujących w standardach G-code i HPGL, języku C i języku komend używanym w sterownikach firmy Galil. Pozwala to na realizację zaawansowanych trajektorii ruchu realizowanych przez różne konfiguracje kinematyczne.

Otwarta architektura programowo-sprzętowa znacznie ułatwia konfigurowanie systemu na życzenie klienta. Opcjonalnie układ sterowania można wyposażać w dodatkowe układy wejścia-wyjścia, bezprzewodową komunikację sieciową i wbudowane napędy serwo-silników szczotkowych prądu stałego i silników krokowych.

Oprócz zintegrowanych układów sterowania, firma Cito Systems oferuje karty komputerowe z serii Millennium na magistrale PCI, ISA i PC/104 z przeznaczeniem do sterowania taką samą gamą silników, jak system AMCS®. Karty te są dostępne w wersjach dla 1, 2 lub 4 osi. W przypadku, gdy wymagane jest sterowanie większą liczbą osi, sterowniki programowe i biblioteki pozwalają na obsługę kilku kart na jednej magistrali. Dodatkowo karty mają wyprowadzenie wewnętrznej magistrali procesorowej pozwalające na stosowanie adapterów realizujących dodatkowe funkcje wymagane przez aplikacje.

Na szczególną uwagę zasługują karty PC/104 wykorzystywane w systemach zabudowanych. Dzięki wysokiej gęstości upakowania elementów, karty te oferują różnorodność sygnałów wejścia-wyjścia niespotykaną w wyrobach konkurencyjnych. Eliminuje to konieczność stosowania dodatkowych adapterów i interfejsów, co umożliwia umieszczanie ich w urządzeniach o małych gabarytach.

Karty są wspomagane bogatym oprogramowaniem tworzącym pakiet Motion Station™, stanowiącym zintegrowane środowisko programowania (*Integrated Motion Control Environment*). W skład pakietu wchodzi sterowniki programowe dla wszystkich kart, biblioteki - C-MotionPlus i Cybermotion™, terminal do zdalnej lub lokalnej komunikacji z kartami, wielozadaniowe jądro zarządzające wykonaniem programów i interpreterów języków oraz graficzny interfejs użytkownika - EasyMotion™. Oprogramowanie działa w środowisku języka Java, wszystkich systemów Windows (jako DLL, ActiveX, COM/DCOM) i Linux 2.4/2.6.

Produkty firmy Cito Systems znajdują zastosowanie w wielu wymagających aplikacjach, zarówno cywilnych, jak i wojskowych. Jednym z przykładów zastosowania układów regulacji firmy Cito Systems jest realizowany dla Armii Amerykańskiej projekt sterowania mechanicznym układem dwóch ramion podwieszonych do sufitu na wysokości 3,5m i przemieszczających zestaw mikrofonów w komorze dźwiękowej. Do poruszania ramion o długości 6m — w celu

uniknięcia wibracji na ich końcach — wybrano profil prędkości ze zmiennym przyspieszeniem. Ponadto odległość między komputerem będącym interfejsem operatora a układem sterującym wymaga zastosowania systemu ze zdalną komunikacją. Do realizacji tego projektu został wybrany system AMCS®.

Innym przykładem — dla odmiany wymagającym zastosowania karty PCI — jest automatyczny system pomiarowy grubości warstw napylanych gazów na waflach krzemowych, produkowany przez firmę MultiMetrixs. W tym przypadku karta sterująca ruchem stołu mechanicznego musiała być sprzężona z innymi kartami realizującymi funkcje generatorów i przetworników analogowo-cyfrowych. Dodatkowo głowica pomiarowa wykonuje spiralną trajektorię ruchu, utrzymując stałą odległość między zwojami ze stałą wartością wektora prędkości liniowej.

Strategią firmy Cito Systems są rozwiązania systemowe układów sterowania pozwalające na zaspokojenie szerokiego

spektrum aplikacji, czego konsekwencją jest szeroka oferta produktów. Z myślą o użytkownikach wykorzystujących różne sterowniki, aby wyeliminować konieczność wprowadzania zmian projektowych i zmian okablowania, wszystkie produkty są kompatybilne ze sobą zarówno od strony sprzętu, jak i oprogramowania. Układy sterujące zostały uzupełnione przez dodatkowe akcesoria w postaci specjalizowanych kabli, adapterów portów szeregowych, przetworników resolver-encoder oraz przez układy napędów serwo-silników prądu stałego i silników krokowych. Interpretery języków skryptowych, np. TCL, eliminują konieczność łączenia bibliotek i kompilowania całego oprogramowania. Dzięki temu wdrożenia układów sterowania produkowanych przez Cito Systems są łatwe i szybkie. Dla potencjalnych klientów z Polski dodatkowym argumentem przemawiającym za wyborem rozwiązań właśnie Cito Systems jest możliwość uzyskania wsparcia technicznego ze strony polskiego przedstawicielstwa - firmy Egmont Instruments, jak również uzyskanie bezpośredniego wsparcia w języku polskim ze strony producenta.

Bibliografia:

- [1] *Networks Busting All Over*, Control Engineering, March 2005.
- [2] *Fellowship of the Fieldbuses?*, Control Engineering, June 2004.
- [3] *Ethernet Hits Real-Time... Really*, Control Engineering, December 2003.
- [4] *Industrial Ethernet: Powerlink, EtherNet/IP*, Control Engineering, June 2005.

Autor jest absolwentem Instytutu Automatyki Politechniki Warszawskiej i Szkoły Biznesu Politechniki Warszawskiej. Aktualnie jest Dyrektorem Naczelnym w firmie Cito Systems.

The logo for Cito Systems, featuring the word "Cito" in a bold, black, sans-serif font with a red vertical bar on the left side of the letter 'i', and the word "Systems" in a smaller, black, sans-serif font directly below it.

Cito Systems

3940 Freedom Circle, Santa Clara, CA 95054, USA
Tel. (408) 836-3300
Fax (408) 200-7499
info@citosys.com
www.citosys.com

The logo for Egmont Instruments, featuring the word "Egmont" in a large, black, stylized, cursive-like font. A thick, black, curved line arches over the letters, starting from the left and ending on the right, partially overlapping the top of the letters.

Egmont Instruments

ul. Chłodna 39, pawilon 11, 00-867 Warszawa
Tel. 0228506205, 0228506430, kom. 0-604 060807
Fax 0226540248
cito@egmont.com.pl
www.egmont.com.pl