

RYSZARD DINDORF, PAWEŁ ŁASKI, JAKUB TAKOSHOGU, PIOTR WOŚ*

ROZPROSZONY SYSTEM STEROWANIA CZASU RZECZYWISTEGO DO SERWONAPĘDÓW PŁYNOWYCH

DISTRIBUTED REAL-TIME CONTROL SYSTEM FOR FLUID POWER SERVO-DRIVES

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego do serwonapędów płynowych. Zaproponowany rozproszony system sterowania składa się z dwóch komputerów: Target PC i Host PC. Komputer Target PC stanowi warstwę sterowania bezpośredniego i połączony jest z obiektem regulacji – serwonapędem płynowym. Komputer Host PC stanowi warstwę sterowania nadrzędnego oraz pełni rolę operatora w stosunku do sterowania bezpośredniego. Na podstawie rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego zaprojektowano regulator rozmyty do serwonapędu pneumatycznego oraz regulator adaptacyjny do serwonapędu hydraulicznego.

Słowa kluczowe: rozproszony system sterowania, system sterowania napędów płynowych

Abstract

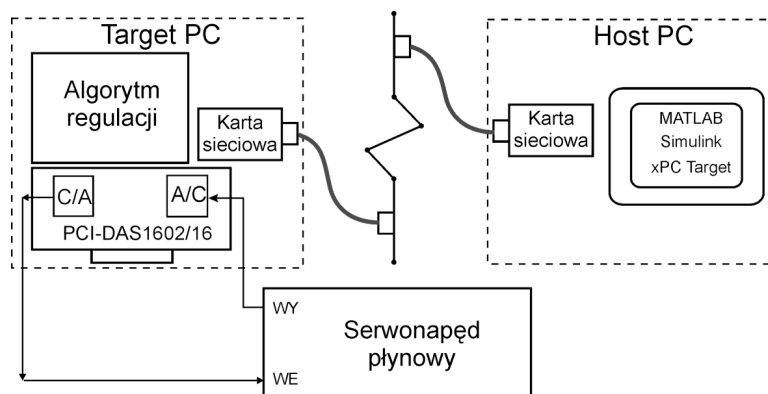
The paper deals with distributed real-time control systems for fluid power servo-driver. The proposed distributed control systems consists of two computers Target PC and Host PC where the first computer directly controls the pneumatic servo-drive and is connected to controlled systems – fluid power driver while the second functions as the operator towards the direct control layer. On the basis of the distributed real-time control system the fuzzy logic controller for electro-pneumatic servo-drive and adaptive controller for electro-hydraulic servo-drive were designed.

Keywords: distributed control systems, fluid power control system

* Prof. dr hab. inż. Ryszard Dindorf, dr inż. Paweł Łaski, dr Jakub Takoshoglu, dr inż. Piotr Woś, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska.

1. Wstęp

W rozbudowanych procedurach akwizycji i przetwarzania danych pomiarowych oraz przy zastosowaniu zaawansowanych algorytmach regulacji serwonapędów płynowych (elektrohydraulicznych i elektropneumatycznych) wydajność obliczeniowa i możliwości komunikacji sterowników PLC są znacznie ograniczone. Na podstawie komputerów PC działających w środowisku Windows XP z oprogramowaniem Matlab-Simulink można stworzyć zaawansowane konfiguracje rozproszonych systemów pomiarowych, kontrolnych i regulacyjnych [1, 4]. Zaproponowana koncepcja rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego do serwonapędów płynowych, oparta na dwóch komputerach: Host PC i Target PC, przedstawiona została na rys. 1. W komputerze Host PC zainstalowano oprogramowanie Matlab-Simulink oraz xPC Target. W pakiecie oprogramowania Matlab-Simulink możliwe jest tworzenie procedur obliczeniowych dla konwencjonalnych regulatorów i regulatorów inteligentnych oraz wykonywanie własnych aplikacji regulacyjnych i wizualizacyjnych. Komputer Target PC ma zainstalowaną kartę wejść/wyjść analogowych oraz system Real-Time xPC Target, który służy do akwizycji danych pomiarowych oraz sterowania serwonapędów płynowych. Komputer Target PC ma możliwości symulacji metodą HIL (Hardware-in-the-Loop) przepływu sygnałów sterujących i pomiarowych w czasie rzeczywistym. Aplikacje uruchamiane poprzez modele Simulinka używają jądra czasu rzeczywistego komputera PC. Komputery Host PC i Target PC komunikują się za pomocą protokołu TCP/IP. Ingerencja warstwy nadrzędnej w warstwę sterowania bezpośredniego nie musi odbywać się w sposób ciągły, może występować okresowo, np. w okresach dyskretyzacji lub w wybranych przez operatora momentach czasu.



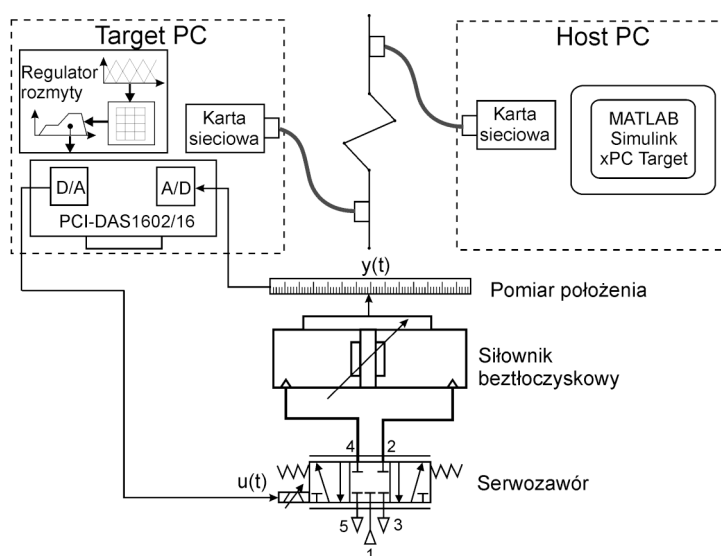
Rys. 1. Schemat rozproszonego system sterowania serwonapędów płynowych
Fig. 1. Schematic diagram of distributed control systems for fluid power drives

Praca z pakietem do szybkiego prototypowania (*rapid prototyping*) polega na zbudowaniu modelu algorytmu sterowania w Simulinku. Następnym krokiem jest skompilowanie modelu oraz wysłanie go na komputer Target PC, który wraz z kartą wejść/wyjść i systemem Real-Time xPC Target pełni rolę sterownika serwonapędów płynowych. Do komputera Target PC połączone są przetworniki pomiarowe przez kartę pomiarową. W komputerach Host PC i Target PC dzięki oprogramowaniu xPC Target Spy możliwa jest

wizualizacja przetwarzanych danych oraz analiza procesu sterowania serwonapędów płynowych. Rozproszony system sterowania umożliwia szybkie prototypowanie regulatorów inteligentnych z możliwością bieżącego dostrajania parametrów regulatora w czasie rzeczywistym oraz przewidywania przyszłego zachowania procesu regulacji. Zaproponowany rozproszony system sterowania został wykorzystany do szybkiego prototypowania w czasie rzeczywistym regulatorów do serwonapędów płynowych – regulatora rozmytego FLC (Fuzzy Logic Controller) do serwonapędu elektropneumatycznego oraz regulatora adaptacyjnego AC (Adaptive Controller) do serwonapędu elektrohydraulicznego.

2. System sterowania serwonapędu elektropneumatycznego

Na podstawie zaproponowanego rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego zbudowano stanowisko badawcze do szybkiego prototypowania regulatorów inteligentnych dla serwonapędów elektropneumatycznych. Schemat rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego z regulatorem rozmytym do sterowania pozycyjnego serwonapędu elektropneumatycznego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu sterowania serwonapędu elektropneumatycznego
Fig. 2. Schematic diagram of electro-pneumatic servo-drive control system

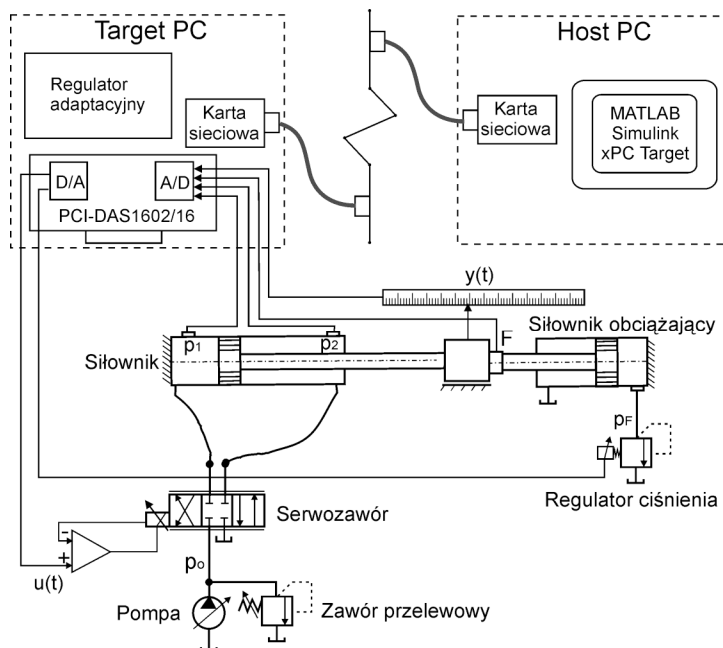
W pracach [2, 5, 7] autorzy przedstawili wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych serwonapędu elektropneumatycznego z regulatorami rozmytymi. Analizowano regulator rozmyty realizujący zadania: regulacji przestawnej, nadążnej oraz sterowania uczenie/odtworzenie (*teching-playback*). Zbudowany regulator rozmyty ma sprzężenie zwrotne od przemieszczania położenia suwaka siłownika beztłoczyskowego. Badania eksperymentalne skoncentrowane były na sprawdzeniu działania regulatora rozmytego typu PD w zmiennych warunkach pracy serwonapędu pneumatycznego. Roz-

wiązanie tego problemu przy niedostatecznej i niekompletnej informacji jest zadaniem trudnym do realizacji, ale szczególnie ważnym w warunkach pracy urządzeń przemysłowych. Szybki rozwój automatyki oraz rosnące wymagania użytkowe w praktyce przemysłowej stawiają przed regulatorem rozmytym wiele zadań: przestawiania, nadążania oraz odtwarzania dowolnych trajektorii ruchu serwonapędu pneumatycznego. Sygnałami wymuszającymi dla regulacji przestawnej są sygnały typu *step* oraz *pulse*, a przypadku regulacji nadążnej sygnały typu *ramp* i *sin*. Ze względu na wykorzystanie serwonapędów pneumatycznych w budowie manipulatorów i robotów przemysłowych jednym z ważniejszych wymagań jest odporność algorytmu regulacji rozmytej na zmienne obciążenie masowe i zmianę ciśnienia zasilającego. Zaprojektowany regulator rozmyty podczas sterowania serwonapędem pneumatycznym charakteryzuje się stabilną i odporną pracą oraz skutecznym działaniem, z jakością regulacji odpowiadającą pracy przemysłowej. Regulator rozmyty może być zastosowany w różnych konfiguracjach sprzętowych serwonapędu pneumatycznego bez konieczności strojenia regulatora, stosowania filtracji sygnałów, stosowania dodatkowych operacji w torze regulacji, np. ograniczenia pracy integratora (*anti-windup*) czy ograniczenia generowanych sygnałów w porównaniu z regulatorami klasycznymi. Ponieważ zaprojektowany regulator rozmyty dobrze realizuje zadanie sterowania serwonapędem elektropneumatycznym według dowolnej trajektorii zadawanej w czasie rzeczywistym, dlatego został wykorzystany do sterowania serwonapędów pneumatycznych w wieloosiowych manipulatorach kartezyjskich (X-Y, X-Y-Z) oraz równoległych (Tripod).

3. System sterowania serwonapędu elektrohydraulicznego

Na podstawie rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego zbudowano stanowisko badawcze do szybkiego prototypowania regulatorów inteligentnych dla serwonapędów elektrohydraulicznych. Schemat rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego z regulatorem adaptacyjnym do sterowania pozycyjnego serwonapędu elektrohydraulicznego przedstawiono na rys. 3. Stanowisko badawcze serwonapędu elektrohydraulicznego składa się z dwóch niezależnie sterowanych obiektów regulacji. Obciążenie badanego siłownika stanowi masa suportu oraz siła oporu technologicznego, uzyskana z dodatkowego siłownika obciążającego. Pomiar przemieszczenia $y(t)$ tłoka siłownika serwonapędu przeprowadza się za pomocą optycznego przetwornika położenia. Do pomiarów ciśnienia $p_1(t)$ i $p_2(t)$ w komorach siłownika i ciśnienia zasilania p_0 , a także siły F obciążenia zewnętrznego zastosowano przetworniki tensometryczne. Rozproszony system sterowania umożliwia szybkie prototypowanie regulatorów adaptacyjnych odpornych na losowe zakłócenia wynikające z gwałtownych zmian mas i siły obciążających serwonapęd hydrauliczny. W rozproszonym układzie sterowania zastosowano układ regulacji adaptacyjnej, w którym identyfikator określa na podstawie wejścia u i wyjścia y aktualne parametry modelu matematycznego obiektu regulacji, czyli serwonapędu elektrohydraulicznego. Na podstawie tych parametrów obliczane są optymalne nastawy parametrów regulatora adaptacyjnego, odpowiadające aktualnej charakterystyce procesu regulacji. W tym przypadku adaptacyjny system sterowania wyznacza parametry regulatora na podstawie algorytmu obserwacji, polegającego na realizacji jednoczesnego pomiaru parametrów sterowania i parametrów wyjściowych. Cecha obserwacji jest charakterystycznym elementem odróżniającym klasyczną metodę regulacji (polegającą

na przetwarzaniu pomiaru wybranego sygnału wyjściowego y na sygnał sterujący u od metody adaptacji (spełniającej rolę dostarczania danych o dodatkowych, niedostępnych pomiarowo wielkości związanych z procesem sterowania).



Rys. 3. Schemat układu sterowania serwonapędu elektrohydraulicznego
Fig. 3. Schematic diagram of electro-hydraulic servo-drive control system

W analizowanym układzie regulacji serwonapędu elektrohydraulicznego ustalony błąd pozycjonowania nie odbiega od błędów uzyskanych metodami klasycznymi. W artykule analizowano skuteczności adaptacyjnego algorytmu regulacji na zmiany prędkości i obciążenia siłownika. Dzięki estymacji parametrów modelu w czasie rzeczywistym (*on-line*) możliwa jest dynamiczna zmiana tych parametrów w chwili wystąpienia losowego zakłócenia. Możliwe jest także wykorzystanie modelu do syntezy regulatora adaptacyjnego z estymacją parametrów modelu obiektu sterowania. W pracach [3, 6, 8] autorzy przestawili wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych serwonapędu elektrohydraulicznego z regulatorem adaptacyjnym. Otrzymane wyniki badań i wnioski pozwalają na projektowanie układów regulacji adaptacyjnej serwonapędów hydraulicznych odpornych na zakłócenia zewnętrzne, np. w postaci skokowej zmiany siły obciążającej siłownik hydrauliczny.

4. Wnioski

W artykule przedstawiono koncepcję rozproszonego systemu sterowania czasu rzeczywistego do szybkiego prototypowania inteligentnych regulatorów rozmytych FLC (Fuzzy Logic Controller) i adaptacyjnych AP (Adaptive Controller) dla serwonapędów

płynowych (elektrohydraulicznych, elektropneumatycznych). Zaproponowany rozproszony system sterowania składa się z dwóch komputerów Host PC i Target PC. Komputer Target PC stanowi warstwę sterowania bezpośredniego i jest sprzężony z układem regulacji serwonapędu płynowego (elektrohydraulicznego, elektropneumatycznego), natomiast komputer: Host PC stanowi warstwę sterowania nadrzędnego oraz pełni rolę operatora w stosunku do warstwy sterowania bezpośredniego. Rozproszony system sterowania czasu rzeczywistego wraz z oprogramowaniem do symulacji metodą HIL (Hardware-in-the-Loop) i szybkiego prototypowania (rapid prototyping) w czasie rzeczywistym zastosowano do projektowania regulatora rozmytego dla serwonapędu pneumatycznego oraz regulatora adaptacyjnego dla serwonapędu hydraulicznego. W przedstawionym rozproszonym systemie sterowania wykorzystuje się AS-Interface (Actuator Sensor Interface), w którym aktuatory i sensory stanowią integralną całość, zarówno od strony sprzętowej, jak i programowej. Koncepcja dwukomputerowego rozproszonego systemu pomiarów i sterowania stwarza możliwość projektowania wysoko wydajnych, inteligentnych układów regulacji o różnej konfiguracji do serwonapędów płynowych. System rozproszony, jako niezależny zbiór elementów pomiarowych i sterujących z komputerami PC, jest stosowany w nowoczesnych systemach regulacyjnych, kontrolnych oraz informatycznych.

Literatura

- [1] Dindorf R., *Distributed measurements and control systems for rapid prototyping of fluid power drive controllers*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, No. 5, 2008.
- [2] Dindorf R., Takoshoglu J., *Teaching-playback control of electro-pneumatic servo-drive*, *Mechanics*, Vol. 28, No. 1, 2009.
- [3] Dindorf R., Woś P., *Wyniki badań serwonapędu elektrohydraulicznego z regulatorem adaptacyjnym*, *Maszyny Górnicze*, 4, 2008.
- [4] Dindorf R., Łaski P., Takoshoglu J., *Distributed measurements and control systems for rapid prototyping of artificial intelligence controller*, *Proceeding of MEASUREMENT'2009 – 7th International Conference on Measurement*, May 20–23, Smolenice Castle, Slovakia 2009.
- [5] Dindorf R., Takoshoglu J., *Inteligentny serwonapęd pneumatyczny*, *Control Engineering*, Polska, styczeń–luty 2010.
- [6] Dindorf R., Woś P., *Adaptive control of an electro-hydraulic servo-system*, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 15, No. 3, 2010.
- [7] Takoshoglu J., Dindorf R., Łaski P., *Rapid prototyping of fuzzy controller pneumatic servo-system*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, No. 9, Publishing Springer Verlag, London 2008.
- [8] Woś P., Dindorf R., *Problems of the adaptive control of electro-hydraulic system*. *Proceeding of MSM'2010 – 6th International Conference Mechatronics Systems and Materials*, 5–8 July, Opole 2010.