

OTWARTY MODUŁOWY SYSTEM STEROWANIA OBRABIARKI CNC

STEFAN DOMEK, MIROSLAW PAJOR, KRZYSZTOF PIETRUSEWICZ, ŁUKASZ URBAŃSKI

Instytut Automatyki Przemysłowej, Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Instytut Technologii Mechanicznej, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

e-mail: stefan.domek@zut.edu.pl, mirosław.pajor@zut.edu.pl, krzysztof.pietrusewicz@zut.edu.pl, lukasz.urbanski@zut.edu.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono innowacyjną koncepcję otwartego modułowego, w pełni rekonfigurowalnego i modyfikowalnego systemu sterowania obrabiarki sterowanej numerycznie. Zastosowane w pracy podejście umożliwia implementację w systemie sterowania zarówno dynamicznych jak i statycznych korekt wartości zadanych poszczególnych osi ruchu podczas realizacji procesu obróbkowego. Prace te prowadzone są w ramach projektu badawczego rozwojowego „Opracowanie i badania prototypu obrabiarkowego zespołu posuwowego z napędami liniowymi sterowanego w dwóch osiach z układu CNC o otwartej architekturze”.

1. WSTĘP

Niniejszy artykuł poświęcony jest innowacyjnej koncepcji otwartego interfejsu złożonego układu sterowania, jakim jest obrabiarka sterowana numerycznie CNC (ang. *Computer Numerical Control*). Z punktu widzenia systemu sterowania jest to „arystokrata” wśród obiektów sterowania. Z jednej strony łączy wszystkie aspekty automatyzacji procesów przemysłowych (komunikacja w sieci, sterowanie cyfrowe, sterowanie ruchem z użyciem cyfrowych serwonapędów, wizualizację sterowanego procesu), z drugiej zaś parametry obróbki skrawaniem (w przypadku frezowania metali jest to dokładność na poziomie pojedynczych mikrometrów) sprawiają, iż zagadnienie poprawy jakości sterowania tego typu układami stanowi nie lada wyzwanie.

Systemy sterowania o otwartej architekturze stanowią coraz bardziej zauważalny w technologii trend rozwojowy. Wiele krajów oraz organizacje naukowo-badawczych dokonało znaczących odkryć na tym polu. Zostały opracowane architektury sprzętowo-programowe, różniące się zarówno podejściem do konfiguracji użytego sprzętu, jak i rozwiązaniami w warstwie oprogramowania czy funkcji systemowych.

Spotykane obecnie na rynku otwarte systemy sterowania mają różne architektury czy też metody realizacji, jednakże dopiero współcześnie zaczynają cieszyć się rosnącą popularnością i zainteresowaniem szeroko rozumianego przemysłu. Niewiele jest również opracowań literaturowych im poświęconych.

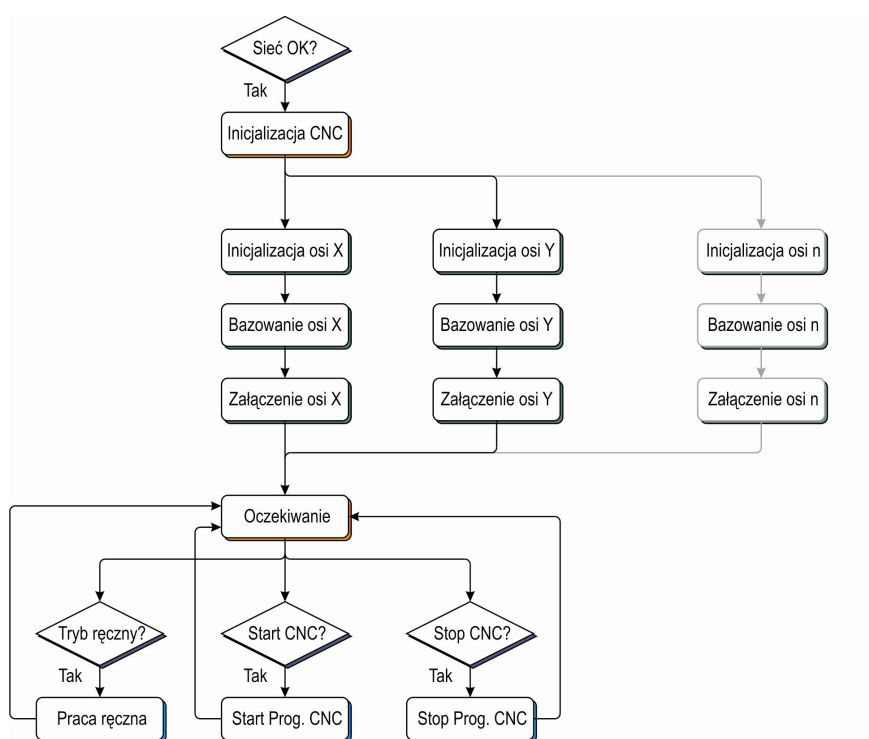
Otwarte systemy sterowania obrabiarek CNC stanowią olbrzymi odsetek opracowań poświęconych tej tematyce.

W ramach przedstawionego tutaj projektu OCEAN (ang. *Open modular Control system for linEAR motioN drive*) zbudowano prototypowy układ prowadnic krzyżowych studialnego modelu obrabiarki na podstawie napędu z użyciem silników liniowych.

Unikatowe rozwiązania, zastosowane w ramach realizowanego projektu, pozwolą na implementację rozmaitych funkcji diagnostyczno-sterujących, w tym metod bazujących na opracowanej bazie wiedzy na temat działania obrabiarki.

2. OBIEKT STEROWANIA – OBRABIARKA CNC

Na rys. 1 przedstawiono schemat funkcjonalny systemu sterowania obrabiarki CNC z punktu widzenia komponentów automatyki.



Rys.1. Schemat funkcjonalny systemu sterowania CNC

Realizacja podstawowych funkcji systemu sterowania CNC sprowadza się do kilku czynności:

- włączenia zasilania całości układu,
- sprawdzenia komunikacji w sieci urządzeń (wizualizacji, sterowania, serwonapędów),
- inicjalizacji systemu CNC (konfiguracja parametrów poszczególnych osi),
- inicjalizacji poszczególnych osi ruchu,
- zasilenia regulatorów w osiach serwonapędowych (załączenia regulatorów),
- oczekiwania na ruch/rozpoczęcie wykonywania programu obróbki,
- rozpoczęcia realizacji funkcji zawartych w programie,
- zakończenia wykonywania programu obróbki oraz,
- realizacji funkcji sterowania ręcznego, jak dojazd zgrubny na pozycję lub relatywne przesunięcie narzędzia w poszczególnych osiach.

3. OTWARTOŚĆ SYSTEMÓW STEROWANIA – PROJEKT OCEAN

Prowadzone od lat prace nad opracowaniem otwartych systemów sterowania przynosiły różne rezultaty.

Jako pierwszy, w Stanach Zjednoczonych opracowany został system Next Generation Controller NGC [1]. W Europie organizacja OSACA (Open System Architecture for Control with Automation Systems) [2] zaproponowała swoje oryginalne podejście do tematu otwartej architektury systemu sterowania. Wkrótce nadeszła odpowiedź z Japonii [3] – organizacja OSEC (Open System Environment for Controller) opracowała interfejs aplikacji sterującej (Application Program Interface) – OSEC API. Konsorcjum firm Chrysler, Ford i General Motors powołało do życia organizację użytkowników układów sterowania OMAC [4] (Open Modular Architecture Controls), która w niedługim czasie opracowała OMAC API dla otwartych systemów sterowania. W oparciu o prace OMAC nad swoim API organizacja NIST (National Institute of Standard and Technology) opracowała koncepcję otwartego sterownika maszyn – Enhanced Machine Controller (EMC) [5]. Chiński rząd również prowadził prace nad opracowaniem standardu otwartego systemu sterowania numerycznego. Dodatkowo, wiele uniwersytetów i politechnik, jak np. University of British Columbia [6], University of Michigan [7] czy Shanghai Jiao Tong University [8], również zaproponowało swoje systemy sterowania o otwartej architekturze.

Otwartość systemu sterowania może zostać zdefiniowana na kilku rozmaitych poziomach, a kryterium oceny otwartości związane może być z:

- zakresem aplikacji, do jakich dany system może zostać zastosowany,
- poziomem otwartości i konfigurowalności jądra samego systemu,
- zakresem wykorzystania interfejsów komunikacyjnych, dostępnych na rynku.

Zastosowane tutaj podejście przewiduje wykorzystanie systemu sterowania, którego architektura sprzętowo-programowa zgodna jest z zaleceniami grupy OMAC. Wybór tej architektury podyktowany jest jej największą obecnie popularnością w aplikacjach przemysłowych. Dzięki temu zadania sterowania oprogramowywane są zgodnie z obowiązującą dla sterowników programowalnych normą IEC 61131-3, zaś zadania sterowania ruchem zgodnie z normą PLCopen Motion Control.

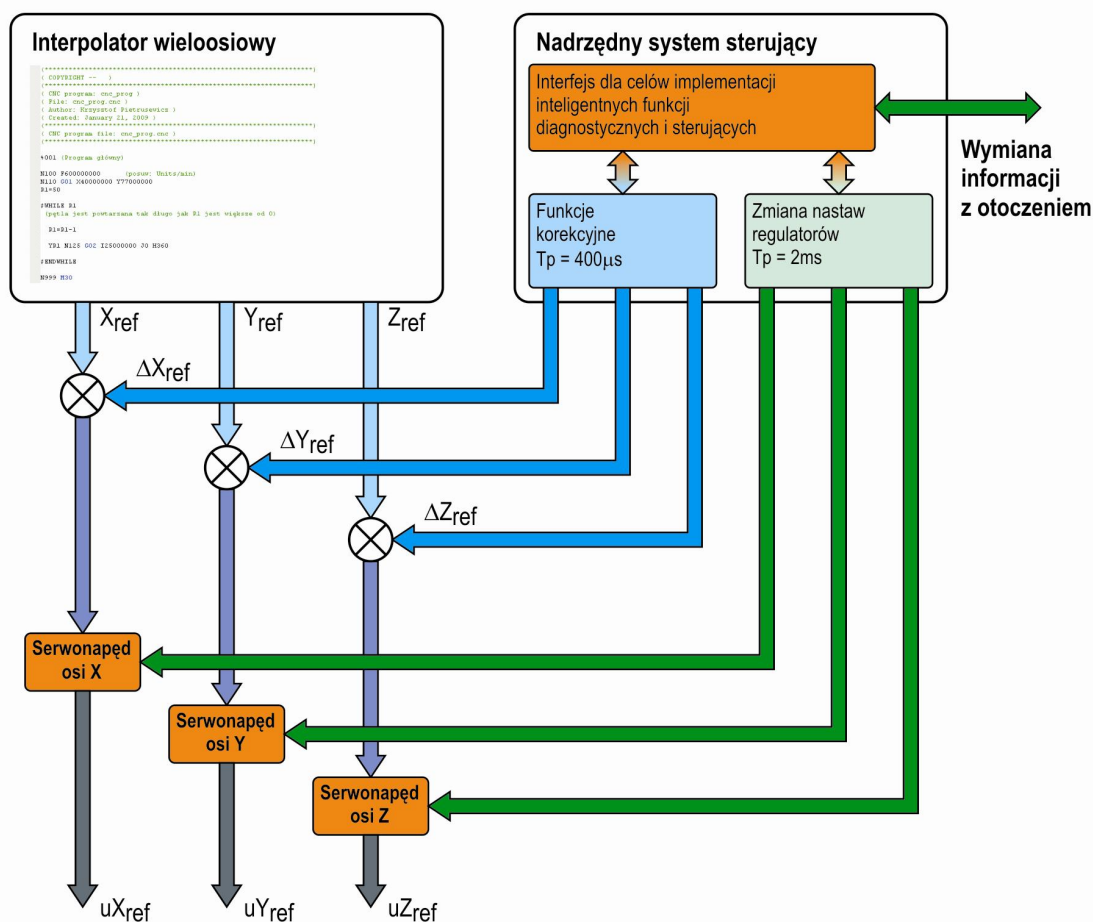
Wykorzystanie technologii serwerowej OPC (OLE for Process Control) umożliwia komunikację z dowolnymi dostępnymi na rynku aplikacjami HMI/SCADA (ang. *Human Machine Interface/Supervisory Control And Data Acquisition*) jak również narzędziami analizy danych. Dzięki połączeniu kilku wybranych interfejsów komunikacyjnych w ramach opracowanej koncepcji możliwa jest wymiana danych z urządzeniami automatyki wielu producentów (CAN, Modbus TCP/IP, Profibus DP, Ethernet TCP/IP, TCP/UDP, i inne).

Również wykorzystanie powszechnie stosowanych technologii informacyjnych, jak programowanie obiektowe .net, czy użycie do wizualizacji fragmentów procesu otwartych formatów zapisu plików (XML, VRML) sprawia, że możliwa staje się dowolnie elastyczna wymiana informacji również z warstwą biznesową przedsiębiorstwa, w ramach którego będzie funkcjonować obrabiarka, w której zastosowano opracowany system.

Pomiary w opracowywanych równolegle układach studialnych obrabiarek (z napędem śrubowym tocznym oraz z silnikami liniowymi) prowadzone są z użyciem interferometru laserowego XL80 oraz systemu ballbar QC10 firmy Renishaw – uznanych narzędzi pomiarowych do wyznaczania wielu normatywnych cech funkcjonalnych obrabiarek.

To, co można zrobić w otwartym systemie sterowania dodatkowo (w porównaniu do dostępnych na rynku systemów CNC), poza realizacją funkcji zawartych w programie obróbki, stanowi o indywidualnych cechach systemu. System otwarty, którego architekturę sprzętowo-programową opracowano w ramach omawianego tutaj projektu, posiada aktualnie funkcjonalności, dzięki którym możliwe będzie (po opracowaniu zaleceń co do postępowania i odpowiednich algorytmów obliczeniowych) wprowadzenie korekt procesu obróbczego, które obejmować będą m.in. (w nawiasach zamieszczono nazwy opracowywanych bibliotek korekt):

- bloki korekcyjne uwzględniające zagadnienia termiczne podczas obróbki (Termostability),
- bloki korekt uwzględniających drgania układu (Vibrostability),
- bloki korekt z uwagi na siłę skrawania (Cutting Forces),
- bloki korekt z uwagi na odkształcenia/niedokładności konstrukcji obrabiarki (Construction Distortion),
- bloki korekt z uwagi na zmienne w czasie obciążenie układu napędowego wskutek ubytkowego charakteru obróbki (Time-varying Load),
- bloki korekt z uwagi na początkowe położenie obrabiarki względem przedmiotu obrabianego (Initial Conditions),
- bloki korekt *on-line*, uwzględniających opracowany w ramach projektu model układu i jego zmienność (On-line Corrections).



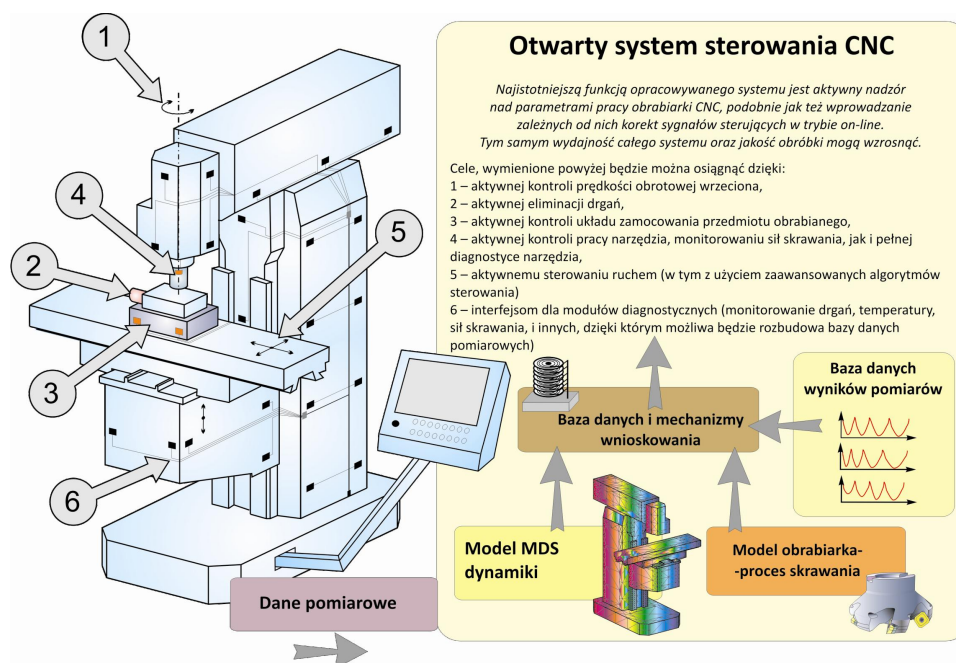
Rys.2. Schemat koncepcyjny opracowanego systemu

System w aktualnej wersji umożliwia podczas wykonywania procesu obróbki wprowadzanie (jako korekty wartości zadanych w poszczególnych osiach ruchu) wprowadzanie dodatkowych

sygnałów, co 400 mikrosekund. Alternatywnie możliwe jest (co 2 milisekundy) dokonywanie zmian wartości parametrów regulatorów serwonapędów w poszczególnych osiach ruchu. Schemat funkcjonalny opracowanego systemu przedstawiono na rys. 2.

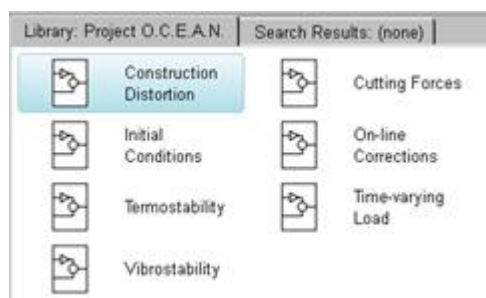
4. KONCEPCJA INTELIGENTNEJ OBRABIARKI, FUNKCJE KOREKCYJNE

Prace, których wyniki zamieszczono w niniejszym artykule, skupiają się wokół koncepcji „inteligentnej” samodiagnostycznej stan swojej pracy, a następnie reagującej w określony sposób na występujące w układzie zdarzenia, poziomy sygnałów, obrabiarki CNC.



Rys.3. Koncepcja inteligentnej obrabiarki

Podczas realizacji zadań związanych z projektem powstała biblioteka Matlab/Simulink, na którą składają się bloki funkcyjne, których pakiet może zostać dołączony do właściwego systemu sterowania z użyciem narzędzi szybkiego prototypowania.



Rys.4. Biblioteka oprogramowania Matlab/Simulink, zawierająca bloki korekcyjne

W opisywanym systemie dla celów testowania i implementacji opracowywanych koncepcji bloków korekcyjnych wykorzystano narzędzie *Automation Studio Target for Simulink* firmy Bernecker&Rainer, dzięki któremu możliwe jest szybkie prototypowanie układów regulacji – od prowadzenia badań *Software-in-the-loop*, poprzez zagadnienie *Virtual Prototyping* (w myśl którego regulator, umieszczony pośród zadań realizowanych przez procesor sterownika,

steruje wirtualnym modelem rzeczywistego procesu), a następnie badania symulacyjne *Hardware-in-the-loop* (regulator i model procesu obliczane przez jedną i tą samą jednostkę centralną), skończywszy na *Rapid Prototyping* poprzez automatyczne generowanie kodu dla systemu docelowego – w tym przypadku zadania sterowania dla deterministycznego wielozadaniowego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego AR010.

Opracowane biblioteki oprogramowania Matlab/Simulink pozwolą bardzo szybko, od koncepcji algorytmu wykorzystania danego bloku korekcyjnego w ramach platformy sterującej obrabiarką, przejść do uruchomienia jego rzeczywistej funkcjonalności w systemie docelowym.

5. PODSUMOWANIE

Dzięki opracowanym aktualnie i w przyszłości mechanizmom poprawy jakości możliwe będzie osiągnięcie stanu, w którym zarówno niedokładności wynikające z wad konstrukcyjnych obrabiarki jak i zmieniające się podczas obróbki wartości sygnałów, będą mogły zostać uwzględnione w algorytmach sterowania ruchem poszczególnych osi podczas obróbki. Aktualnie prowadzone są prace nad budową otwartego interfejsu cyfrowego serwonapędu, umożliwiającego uwzględnienie w jego pracy większej liczby sygnałów aniżeli tylko tego pochodzącego z enkodera.

LITERATURA

1. Marietta M.: Next generation controller specification for an open system architecture standard (SOSAS). NGC project report, 1994.
2. OSACA Consortium: Open system architecture for controls within automation (OSACA) systems. ESPRIT III project Final Report, 1996.
3. OSE Consortium: OSEC-II project technical report – development of open system environment for controller (OSEC), 1998.
4. OMAC API Work Group: OMAC API SET working document, version 0.20, 1999.
5. Home for users of the Enhanced Machine Controller (EMC). <http://www.linuxcnc.org/>
6. Erol N.A., Altintas Y., Ito M.: Open architecture modular tool kit for motion and machining process control. "Transactions ASME/IEEE J Mechatronics" 2000, 5, 3, p. 281-291.
7. Shiu C., et al.: Specifying reconfigurable control flow for open architecture controllers. Proc. of the 1998 Japan-USA Symposium on Flexible Automation 1998, Vol. 2, p. 659-666.
8. Yonglin C., Jianguo C., Zuyu W.: Platform for an open architecture controller based on a general operation system with a hard real-time extension. "Int J. Prod Res" 2003, 41, s. 2839-2850.

OPEN MODULAR CONTROL SYSTEM OF THE COMPUTER NUMERICAL CONTROLLED CUTTING MACHINE

Summary. The new innovative conception of the open, modular, fully reconfigurable and modifiable control system of the computer numerical controlled cutting machine is presented in the paper. Used here approach lets the potential user to implement dynamic and static corrections within the cutting process. The presented paper is financed from the research grant number R03 042 02 entitled "Research and Development of the prototype of the CNC's motion unit based on the linear servodrives controlled in two axis by the open architecture system".