

**Stefan DOMEK, Paweł DWORAK,
Krzysztof PIETRUSEWICZ**

Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny

Zintegrowany system monitorowania warunków pracy układu napędowego obrabiarki sterowanej numerycznie

Streszczenie. Przedstawiony w niniejszym artykule materiał stanowi podsumowanie prac nad prototypowym stanowiskiem badawczym układu napędowego stolika X-Y frezarki sterowanej numerycznie z użyciem systemu o otwartej architekturze iCNC. Przedstawiono moduły systemu już opracowane jak i te, nad którymi prowadzone są prace badawcze. Projekt, o którym tutaj mowa – O.C.E.A.N. (Open modular Control system for linEAr motioN drive) to system napędowy, możliwy do zastosowania zarówno w układach sterowania maszyn wykorzystujących synchroniczne silniki liniowe prądu zmiennego jak i silniki PMSM – obrotowe silniki bezszczotkowe synchroniczne z magnesami trwałymi prądu zmiennego) jest wynikiem prac naukowo-badawczych interdyscyplinarnego Centrum Mechatroniki, skupiającego badaczy dwóch Wydziałów ZUT w Szczecinie: Elektrycznego oraz Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki. Został szczegółowo omówiony w publikacji [1]. Szczególną uwagę zwrócono na moduł OCEANdiag, co jest spowodowane aktualnymi światowymi trendami w dziedzinie produkcji obrabiarek [2-7].

Słowa kluczowe: mechatronika, obrabiarka CNC, monitorowanie warunków pracy, diagnostyka.

Keywords: mechatronics, CNC machine tool, condition monitoring, diagnostics.

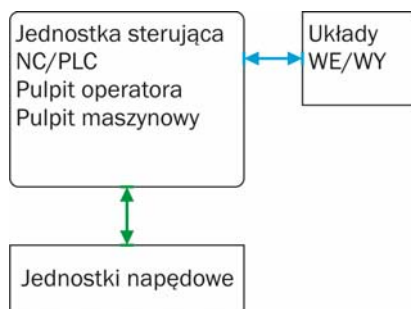
Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój systemów sterowania sprawił, iż doskonale z punktu widzenia konstrukcyjnego rozwiązanie konwencjonalnych maszyn obróbczych (frezarek, tokarek) coraz częściej, w mechatroniczny sposób, przekształca się w urządzenia wielofunkcyjne o nowych i/lub poprawionych właściwościach [1, 2]. Rosnące wymagania użytkowników sprawiają, że współcześnie maszyny wytwórcze przechodzą prawdziwą rewolucję [3], zaś ze względów ekonomicznych coraz częściej w obrabiarkach stosowane są rozmaite rozwiązania systemów diagnostycznych [4-7].

Wraz z rozwojem obrabiarek, kilkanaście lat temu do języka technicznego weszło określenie układów sterowania o otwartej architekturze [8-11]. W niniejszym artykule przedstawiono architektury systemów sterowania obrabiarek [12] oraz zaprezentowano możliwości, jakie oferują użytkownikom systemy o architekturze otwartej. Na przykładzie projektu OCEAN [1, 8] omówiono zagadnienie monitorowania stanu obrabiarki wielofunkcyjnej.

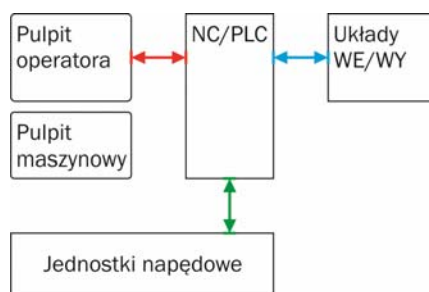
Systemy sterowania obrabiarek

Od pierwszych numerycznych systemów sterowania obrabiarek wymagano jedynie, aby realizowały podstawowe zadania/polecenia na podstawie technologicznych informacji geometrycznych [12]. W tym okresie, na rynku dominowały systemy sterowania numerycznego o klasycznej strukturze funkcjonalnej pokazanej na rysunku 1.



Rys.1. Klasyczna (zamknięta) struktura układu sterowania CNC [12]

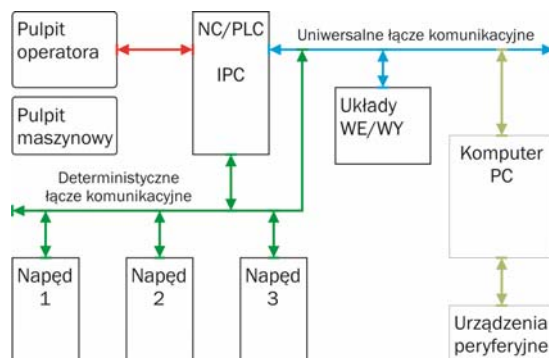
W miarę, jak wymagania użytkowników oraz możliwości technologiczne rosły (lata 1990-2000), na rynku pojawiły się systemy sterowania o architekturze rozproszonej (Rys. 2).



Rys.2. Rozproszona struktura układu sterowania CNC [12]

Coraz większy nacisk zaczęto stawić na łatwość obsługi i programowania maszyn, czy też modułowość budowy systemu sterowania.

Współcześnie jedynym akceptowanym przez użytkowników (choćby z uwagi na rosnącą liczbę nowych maszyn do zastosowań specjalistycznych, o nietypowej kinematyce oraz wyposażeniu) rozwiązaniem wydają się systemy sterowania o otwartej architekturze funkcjonalnej (Rys. 3).



Rys.3. Otwarta architektura systemu sterowania CNC

To właśnie dzięki szeroko rozumianej otwartości [1, 8], zarówno pod względem budowy sprzętowej systemu sterowania jak i możliwości modyfikacji/rozbudowy jego oprogramowania (m.in. jądra systemu operacyjnego), możliwe jest zapewnienie dużej dynamiki i precyzji obróbki oraz wysokiego bezpieczeństwa pracy obrabiarki i jej

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

niezawodności (np. przez skrócenie czasów przestoju maszyn oraz implementację nowoczesnych algorytmów sterowania i diagnostyki ruchu maszyn).

Jednym z celów projektu *O.C.E.A.N.* było opracowanie (na bazie komponentów dostępnych komercyjnie na rynku) struktury funkcjonalnej systemu sterowania obrabiarką CNC, dzięki której możliwe jest korygowanie (dynamiczne i statyczne) wpływu warunków obróbki skrawaniem na jakość pracy obrabiarki (jej wybranych komponentów).

Projekt O.C.E.A.N.

Jest to otwarty modułowy, w pełni rekonfigurowalny i modyfikowalny system sterowania układem napędowym obrabiarki CNC, pozwalający zarówno na sterowanie układem napędowym z zastosowaniem przekładni śrubowo-toczących jak i silników liniowych. Sposób działania oraz podstawowy schemat funkcjonalny omówione były w pracy [1].

Struktura funkcjonalna systemu dzieli się na kilka podstawowych komponentów sprzętowo-programowych. Poniżej wymieniono i opisano moduły programowe, które przygotowano/oprogramowano podczas prac nad projektem. Wszystkie te moduły wchodziły w skład deterministycznego wielozadaniowego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego, przydzielającego i szeregującego zadania realizowane przez system sterowania:

OCEANdrive. Moduł sterowania układem napędowym; wartością zadaną dla poszczególnych osi napędowych są korygowane wartości pozycji osi wirtualnych, sterowanych z poziomu dekodera programu obróbki; tryb ruchu odbywa się poprzez zadawanie pozycji bez zatrzymania w punkcie końcowym. W ramach modułu wyróżnia się dwa typy funkcji:

OCEANdrive.corr. Obsługa addytywnych (wartości zadanych pozycji, prędkości, prądu) i parametrycznych (parametrów regulatorów, profili ruchu, parametrów obróbki) korekt pracy układu napędowego,

OCEANdrive.control. Moduł, który w przyszłości pozwoli na implementację własnych/użytkownika algorytmów regulacji w serwonapędzie obrabiarki. Dodatkowo, pozwoli na uwzględnianie w pracy serwonapędu rezultatów działania elementów modułu *OCEANdiag*, jako uzupełnienie informacji z enkoderów/liniałów pomiarowych.

OCEANcomm. Moduł obsługi komunikacji pomiędzy modułami systemu jak i samym systemem a urządzeniami zewnętrznymi. Moduł obejmuje funkcje:

OCEANcomm.EPL. Obsługa wymiany informacji z użyciem deterministycznego protokołu opartego o przemysłową odmianę Ethernetu – Ethernet Powerlink,

OCEANcomm.TCPIP. Blok wymiany danych za pośrednictwem protokołu Ethernet TCP/IP,

OCEANcomm.TCPUDP. Blok wymiany danych za pośrednictwem protokołu Ethernet TCP/UDP,

OCEANcomm.OPC. Moduł wymiany informacji z użyciem technologii OPC Data Access oraz OPC Alarms and Events.

OCEANvis. Moduł wizualizacji, interfejsu operatora oraz innych elementów związanych z wizualizacją procesu. W skład modułu obsługi wizualizacji wchodzi:

OCEANvis.local. Funkcje związane z lokalnym interfejsem operatora,

OCEANvis.remote. Funkcje związane ze zdalnym dostępem do interfejsu operatora oraz zmiennych/informacji z procesu obróbki. Technologie wykorzystywane tutaj to VNC (*Virtual Network Communication*) oraz WWW. Dla funkcjonalności tego modułu przydatne są funkcje modułu *OCEANcomm*,

OCEANvis.vr. Funkcje związane z obsługą obrabiarki w środowisku wirtualnej rzeczywistości (*Virtual Reality*),

OCEANvis.manprog. Moduł powiązany z *OCEANvis.vr* w przyszłości posłuży do manualnego programowania obrabiarki w wirtualnej rzeczywistości.

OCEANvibcontrol. Moduł integrujący aktywny eliminator drgań z systemem sterowania obrabiarki.

W ramach projektu *O.C.E.A.N.* zdefiniowano także strukturę oraz warunki komunikacji trzech kolejnych modułów programowych, które docelowo dołączone będą do systemu sterowania obrabiarki. Ich szczegółowe funkcjonalności realizowane są w ramach prac wykonywanych w równolegle prowadzonych komplementarnych projektach badawczych.

OCEANtool. Zestaw funkcji związanych z obsługą narzędzi inteligentnych,

OCEANpos. Moduł integracji zautomatyzowanego pozycjonowania materiału do obróbki na stoliku obrabiarki (m.in. celem minimalizacji ubytków materiału skrawanego),

OCEANdiag. Moduł obsługi funkcji diagnostycznych i podejmowania decyzji oraz monitorowania warunków pracy układu obrabiarka-narzędzie-proces skrawania-element obrabiany (*Integrated Condition Monitoring*). Obejmuje następujące, wstępnie zbadane funkcje:

OCEANdiag.heat. Funkcje związane z zagadnieniami termicznymi w pracy obrabiarki. Moduł wypracowywać będzie konkluzję dla modułu *OCEANdrive.corr*, celem zapewnienia poprawy pracy układu napędowego.

OCEANdiag.sv. Moduł analizy dźwięku i drgań podczas pracy obrabiarki (*Sound & Vibration*).

OCEANdiag.vision. Moduł obsługi systemów wizyjnych, stosowanych do analizy statystycznej produkcji i monitorowania stanu narzędzi i stanu powierzchni po obróbce.

OCEANdiag.load. Moduł monitorowania sił skrawania oraz obciążenia poszczególnych osi napędowych obrabiarki.

OCEANdiag.fusion. Moduł sprzętowej syntezy informacji z czujników o różnym charakterze. Dzięki funkcjonalności tego modułu możliwe będzie łączenie różnych kombinacji sygnałów diagnostycznych.

Monitorowanie warunków pracy obrabiarki

W pracy [4] omówiono wiele interesujących zagadnień z zakresu diagnostyki procesu skrawania. Należą do nich: integracja informacji z czujników (dodatkowych) w systemie sterowania, ekstrakcja wiedzy na podstawie gromadzonych informacji, przetwarzanie danych, monitorowanie stanu narzędzi skrawających, czy jakość i bezpieczeństwo pracy obrabiarek.

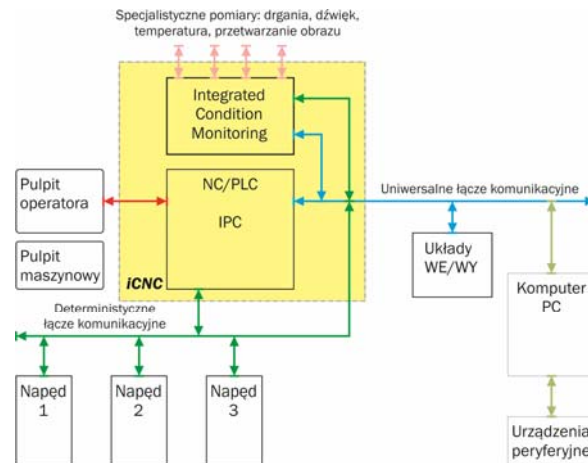
Z kolei w książce [5] w syntetyczny sposób przedstawiono techniki monitorowania warunków pracy i w ogólności diagnostyki całej obrabiarki w zakresie analizy dźwięku, drgań, temperatury. Omówiono m.in. takie mechanizmy decyzyjne jak sieci neuronowo-rozmyte czy ciągła/dyskretna transformata falkowa.

Współcześnie coraz częściej stosuje się systemy monitorowania pracy maszyn (szczególnie wirujących) z uwagi na rosnące potrzeby w zakresie wydajności produkcji. Systemy takie, realizowane zwykle w formie zewnętrznych dla podstawowego systemu sterowania modułów sprzętowo-programowych mają na celu eliminację przestojów w pracy maszyn.

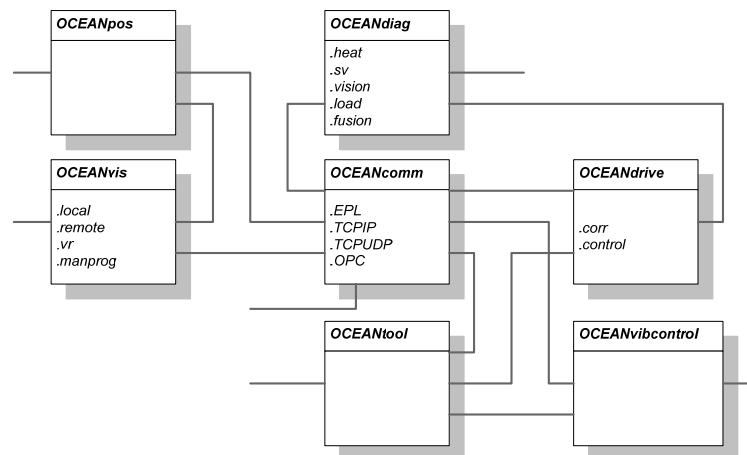
Integracja systemu monitorowania pracy maszyny w ramach podstawowego systemu sterowania przynosi wiele korzyści. Przede wszystkim pozwala efektywniej wykorzystać już istniejące pomiary (np. prądów w osiach napędowych, temperatur czy napięć), uzupełniając je o dodatkowe, wymagające specjalistycznych modułów, niepotrzebnych lub niestosowanych dotychczas w systemie podstawowym.

Na rysunku 4 przedstawiono sposób umiejscowienia modułu zintegrowanego monitorowania stanu/warunków pracy maszyny (*OCEANdiag*) w strukturze funkcjonalnej

opisywanego systemu sterowania obrabiarki CNC.



Rys.4. Sposób umiejscowienia modułu *OCEANdiag (Integrated Condition Monitoring)* w ramach systemu sterowania ICNC



Rys.5. Wymiana informacji pomiędzy modułami systemu

Komunikacja z pozostałymi modułami systemu odbywa się z użyciem standardowego oraz deterministycznego łącza Ethernetu przemysłowego. Schemat dwukierunkowej wymiany informacji pomiędzy poszczególnymi modułami zamieszczono na rysunku 5. W przypadku modułów *OCEANpos*, *OCEANvis*, *OCEANdiag*, *OCEANtool*, *OCEANvibcontrol*, *OCEANcomm* przewidziano również wymianę informacji z systemami zewnętrznymi.

Podsumowanie

Istota systemu *O.C.E.A.N.* tkwi w jego elastyczności i możliwościach dowolnej rozbudowy, prowadzącej w rezultacie do poprawy jakości obróbki skrawaniem.

Mimo, że system O.C.E.A.N. jest adresowany głównie do obrabiarek sterowanych numerycznie (tokarek, frezarek wieloosiowych), może być również wykorzystywany do sterowania układami robotycznymi o dowolnej konfiguracji, a także innymi maszynami technologicznymi.

Aktualnie prowadzone są prace nad budową otwartego interfejsu cyfrowego serwonapędu, umożliwiającego uwzględnienie w jego pracy większej liczby sygnałów aniżeli tylko tego, pochodzącego z enkodera (moduł *OCEANdrive.control*), oraz prace nad opracowaniem modeli, które posłużą do przygotowania zawartości funkcjonalnej modułów *OCEANdiag*.

Referencje

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy rozwojowy.

Projekt O.C.E.A.N. został wyróżniony Złotym Medalem Międzynarodowych Targów Poznańskich podczas imprezy targowej Innowacje-Technologie-Maszyny 2009.

LITERATURA

- [1] Domek S., Pietruszewicz K., Mechatronika w doskonaleniu konwencjonalnych urządzeń technicznych na przykładzie obrabiarki wielofunkcyjnej, *Przegląd Elektrotechniczny*, 9 (2009), 81-87
- [2] Neugebauer R., Denkena B., Wegener K., Mechatronic systems for machine tools, *Annals of the CIRP*, 56 (2007), n.2, 657-686
- [3] Habrat W., Nowoczesne układy sterujące obrabiarek, *Targi Innowacje-Technologie-Maszyny*, Poznań 2009
- [4] Tseng P.C., Chou A., The intelligent on-line monitoring of end milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2002), 89-97
- [5] Wang L., Gao R.X., *Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing*, Springer, 2006
- [6] Broel-Plater B., Domek S., Parus A., Permanent Magnet Chatter Absorber with Fuzzy Logic Control, *Solid State Phenomena*, 147-149 (2009), 179-184
- [7] Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., Koren Y., Heytler P., Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13 (2002), 135-146
- [8] Pietruszewicz K., Open architecture controllers of the CNC machine, *Control Engineering*, 55 (2008), n.1, 17-18
- [9] Pritschow G., Altintas Y., Jovane F., Koren Y., Mitsubishi M., Takata S., van Brussel H., Weck M., Yamazaki K., Open Controller Architecture – Past, Present and Future, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 50 (2001), n.2, 463-470
- [10] Asato O.L., Kato E.R.R., Inamasu R.Y., Porto A.J.V., Analysis of open CNC architecture for machine tools, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 13 (2002), 261-281
- [11] Yonglin C., An evaluation space for open architecture controllers, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26 (2005), 351-358
- [12] Habrat W., Obsługa i programowanie obrabiarek CNC, *Wydawnictwo KaBe*, Krosno 2007

Autorzy: dr hab. inż. Stefan Domek, prof. ZUT, dr inż. Paweł Dworak, dr inż. Krzysztof Pietruszewicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Automatyki Przemysłowej, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: Stefan.Domek@zut.edu.pl; Pawel.Dworak@zut.edu.pl; Krzysztof.Pietruszewicz@zut.edu.pl