

***O.C.E.A.N.* – otwarty modułowy system sterowania obrabiarki CNC (Open modular control system of the CNC machine)**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Centrum Mechatroniki, Wydział Elektryczny, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

Zgłaszany na konkurs produkt o nazwie *O.C.E.A.N.* (*Open modular Control system for linEAR motioN drive*: system napędowy, możliwy do zastosowania zarówno w układach wykorzystujących synchroniczne silniki liniowe prądu zmiennego jak i silniki PMSM – obrotowe silniki bezszczotkowe synchroniczne z magnesami trwałymi prądu zmiennego) to wynik prac naukowo-badawczych interdyscyplinarnego zespołu¹ Centrum Mechatroniki, pracującego pod kierunkiem prof. zw. dr hab. inż. dr h.c. multi Krzysztofa Marchelka, które to Centrum umiejscowione jest formalnie w strukturze Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie.

Prezentowany produkt stanowi otwarty modułowy, w pełni rekonfigurowalny i modyfikowalny system sterowania układem napędowym obrabiarek CNC, pozwalający zarówno na sterowanie układem napędowym z zastosowaniem przekładni śrubowo-toczących lub silników liniowych.

Produkt *O.C.E.A.N.* pozwala, z użyciem dostępnych na rynku (w celu zapewnienia krótkich terminów i typowości komponentów sprzętowych) rozwiązań sprzętowych, na realizację otwartego interfejsu programowania i sterowania obrabiarką CNC.

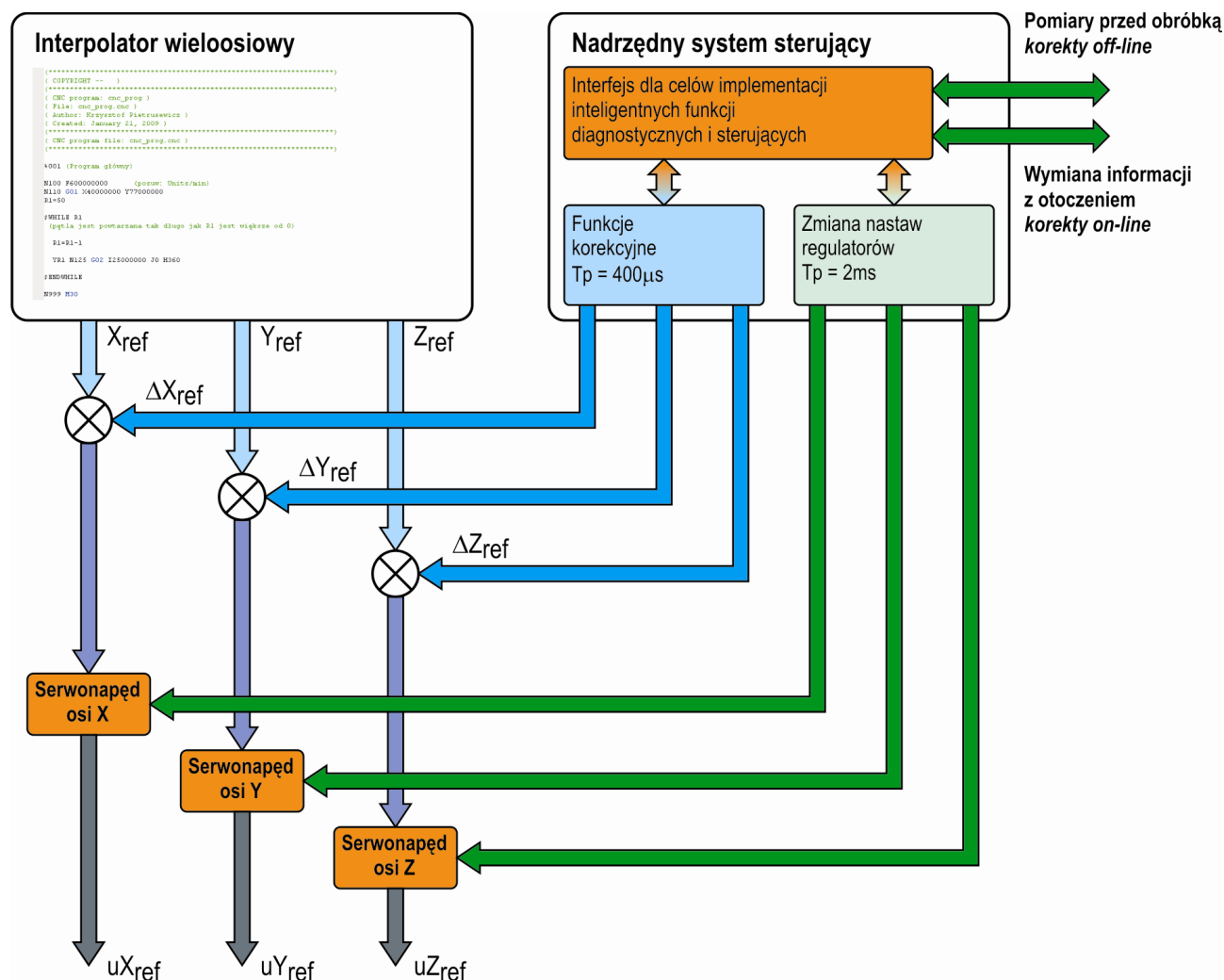
Architektura sprzętowo-programowa prezentowanego produktu pozwala na liczne modyfikacje implementowanych algorytmów diagnostyki i sterowania, uwzględniające zjawiska występujące podczas obróbki skrawaniem, poprzez dołączanie kolejnych modułów programowych do bazowej wersji systemu. Dzięki temu możliwe jest poznanie wpływu i opracowanie strategii reagowania na te zjawiska.

- Do bloków korekt możliwych do implementacji w opracowanym systemie *O.C.E.A.N.* zaliczyć można:
- bloki korekcyjne uwzględniające zagadnienia termiczne podczas obróbki (zagadnienie termostabilności – *Thermostability*),
 - bloki korekt uwzględniających drgania układu (zagadnienie wibrostabilności – *Vibrostability*),
 - bloki korekt z uwagi na siłę skrawania (uwzględnienie siły skrawania np. w algorytmie sterowania serwonapędem – *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 (zagadnienie zmian obciążenia, również podczas realizacji ruchu w pionie, szczególnie istotne w przypadku silników liniowych – *Time-varying Load*),
 - bloki korekt z uwagi na początkowe położenie obrabiarki względem przedmiotu obrabianego (możliwość dowolnego ustalania układów współrzędnych – *Initial Conditions*),
 - bloki korekt on-line, uwzględniających opracowany w ramach projektu model układu i jego zmienność (*Model-based Corrections*).

¹ Zespół badawczy Centrum Mechatroniki składa się z pracowników Instytutu Technologii Mechanicznej Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki (prof. zw. dr hab. inż. dr h.c. multi Krzysztof Marchelek; dr hab. inż. Mirosław Pajor, prof. ZUT; dr hab. inż. Andrzej Bodnar, prof. ZUT; dr inż. Arkadiusz Parus; dr inż. Marcin Chodźko) oraz Instytutu Automatyki Przemysłowej Wydziału Elektrycznego (dr hab. inż. Stefan Domek, prof. ZUT; dr inż. Krzysztof Pietruszewicz; dr inż. Paweł Dworak; dr inż. Bogdan Broel-Plater; mgr inż. Łukasz Urbański) Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Obecnie z powodzeniem prowadzonych jest kilka projektów badawczych, wśród których projekt, w wyniku którego powstał prezentowany produkt o nazwie *O.C.E.A.N.* jest jednym z kluczowych. Produkt o nazwie *O.C.E.A.N.* jest wynikiem wieloletnich badań prowadzonych przez zespół prof. Krzysztofa Marchelka nad problemami cząstkowymi z rozmaitych obszarów problematyki związanej z obrabiarkami CNC, na które składają się m.in.:

- modelowanie konstrukcji obrabiarki,
- opracowanie i badania nad wieloma rodzajami algorytmów sterowania,
- modelowanie układu napędowego obrabiarki CNC,
- projektowanie systemów sterowania maszyn technologicznych.

Produkt *O.C.E.A.N.* w aktualnej wersji umożliwia podczas wykonywania procesu obróbki wprowadzanie i przetwarzanie sygnałów pomiarowych, co 400 mikrosekund (jest to jednocześnie czas pętli zadawania kolejnych pozycji), pozwalając tym samym na realizację rozmaitych funkcji korekcyjnych. Alternatywnie, możliwe jest (co 2 milisekundy) dokonywanie zmian wartości parametrów regulatorów serwonapędów w poszczególnych osiach ruchu. Schemat funkcjonalny prezentowanego systemu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Architektura prezentowanego produktu: wartości zadane, wysyłane do serwonapędu z poziomu interpolatora wieloosiowego ARNC0 ($X_{ref}, Y_{ref}, Z_{ref}$) mogą zostać zmodyfikowane o wartości poprawek ($\Delta X_{ref}, \Delta Y_{ref}, \Delta Z_{ref}$), wyznaczanych bądź na podstawie pomiarów, dokonanych na maszynie przed rozpoczęciem obróbki, bądź na podstawie sygnałów pomiarowych, przetwarzanych w czasie rzeczywistym, podczas obróbki; interfejs, dzięki któremu możliwa jest implementacja funkcji diagnostycznych i sterujących pozwala na wprowadzanie korekt co 400 mikrosekund; zmiana parametrów serwonapędów na podstawie aktualnych sygnałów z obróbki możliwa jest co 2 milisekundy

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.

Do istotnych zalet zgłaszanego produktu zaliczyć należy wysoki (relatywnie w stosunku do innych systemów, dostępnych na rynku) poziom otwartości i innowacyjności zastosowanych rozwiązań sprzętowo-programowych:

- przyjęte założenia (struktura OMAC użytego sprzętu, jednego z czołowych producentów automatyki na rynku) oraz ogólnie przyjęte w przemyśle standardy informatyczne (technologia OPC DA/AE, VRML, .net, interfejsy komunikacyjne: Ethernet, CAN, Profibus DP dla dalszej rozbudowy systemu) umożliwiły osiągnięcie wysokiego poziomu otwartości;
- planowane w przyszłości do implementacji bloki diagnostyczne stanowiąc będą o wyjątkowości systemu spośród innych dostępnych na rynku;
- opracowana platforma sprzętowo-programowa *O.C.E.A.N.* stanowi doskonałą bazę do realizacji dalszych projektów badawczych z zakresu problematyki obróbki skrawaniem – umożliwia bowiem dowolną rozbudowę aplikacji sterowania w myśl zasady, że „inżyniera powinna ograniczać jedynie jego wyobraźnia”.

Porównując prezentowany tutaj produkt z innymi obecnie dostępnymi na rynku systemami napędowymi układów sterowania obrabiarek CNC stwierdzono, że z punktu widzenia użytkownika oraz firm inżynierskich należy je uznać za zamknięte. Użytkownicy mogą bowiem jedynie dokonywać zmian konfiguracyjnych wybranych parametrów systemu, zwykle nie mając do nich dostępu podczas realizacji procesu obróbki. W prezentowanym produkcie mogą zrobić znacznie więcej.

Poniżej przedstawiono szczegółowo funkcje dostępne w nowych systemach sterowania znanych producentów oraz omówiono, jak podobne funkcjonalności realizowane są w ramach zgłaszanego produktu *O.C.E.A.N.*:

- możliwość modyfikacji/konfiguracji interfejsu operatora z użyciem dedykowanej aplikacji wizualizacyjnej – w przypadku zgłaszanego produktu *O.C.E.A.N.* możliwe jest utworzenie interfejsu operatora z użyciem dowolnego dostępnego na rynku oprogramowania HMI/SCADA – InTouch, iFix, WinCC, i innych,
- możliwość zaprojektowania własnego interfejsu operatora z użyciem dostarczonych przez producenta bibliotek dla oprogramowania Visual Studio (dedykowanych dla konkretnych systemów sterowania) – w prezentowanym produkcie zastosowanie technologii OPC poza możliwością wykorzystania dowolnego oprogramowania HMI/SCADA daje jeszcze możliwość tworzenia w dowolnym narzędziu programistycznym wizualizacji w formie aplikacji klienckiej OPC DA/AE, jak również opracowanie dedykowanej wizualizacji w formie stron internetowych WWW w formatach HTML oraz ASP,
- rozbudowa jądra systemu w zakresie sterowania układem napędowym – w zgłaszanym produkcie, w porównaniu do rozwiązań innych producentów możliwa jest dowolna konfiguracja elementów składowych systemu: bibliotek, zadań sterowania, wizualizacji, wymiany danych z otoczeniem przemysłowym – jądro systemu, choć nie może zostać zmienione, to jego funkcjonalność może zostać dowolnie rozszerzona poprzez opracowanie własnych zadań, realizowanych przez procesor sterownika (możliwe jest przypisywanie zadań sterowania i obróbki sygnałów pomiarowych z różnymi czasami próbkowania, co pozwala na dowolną konfigurację obliczeń podczas realizacji implementowanych funkcji diagnostycznych).

Bardzo ważne z punktu widzenia użytkownika jest, iż cały system *O.C.E.A.N.* opracowany jest zgodnie z obowiązującymi w rozwiązaniach przemysłowych układów sterowania normami: IEC 61131-3 oraz PLCopen Motion Control, czy w przyszłości również IEC 61508, poprzez uzupełnienie systemu odpowiednimi podsystemami bezpieczeństwa i zabezpieczeń.

Zgłaszany produkt w początkowej fazie rozwoju prezentowany był:
 – w roku 2008 podczas targów Innowacje Technologie Maszyny;



Fot. 1. Wywiad dla TVP na temat projektu badawczego, którego wynikiem jest zgłaszany produkt, Innowacje Technologie Maszyny 2008 (na zdjęciu od lewej dr inż. Krzysztof Pietruszewicz, Instytut Automatyki Przemysłowej ZUT w Szczecinie /poprzednio Politechnika Szczecińska/)

– w roku 2008 na łamach czasopisma Control Engineering (również w wydaniach czeskim i chińskim)



CNC open architectures

Krzysztof Pietruszewicz, Ph.D., Control Engineering Poland – Control Engineering, 5/1 2009

Most computer numerical control (CNC) systems are closed for users. Engineers typically can only program the machine, nothing more. Even if it has a so-called programming interface (including 3D visualization and process simulation, pre-defined milling/turning cycles, or even a small CAD/CAM system), it cannot be freely modified by the user. Open architecture control systems, however developers understand them, are a noticeable trend of modern control systems technology. "Open" is a very fashionable way to describe today's control systems.

Many efforts are underway to make control system architectures more open. It helps to define the degree of openness of the proposed control system.

Evaluate CNC openness

A variety of open-architecture control systems can be found on the Internet. These include OSACA (Open System Architecture for Controls within Automation Systems), OMAC (Open Modular Architecture Controllers), NOC (Next Generation Controller project, National Center for Manufacturing Sciences), and OSEC (Open System Environment for Controller) control architectures, as well as others.

But what defines CNC openness? Can the degree of control system openness be measured?

A means for rating the openness of major control system attributes is provided in Chi Yonglin's paper, "An evaluation space for open architecture controllers" (International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005).

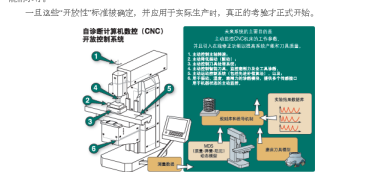
Rating categories include applicable control system domain (0 rating means that the controller has been designed as special equipment); a 10 rating means it can be used for all domains of the manufacturing industry), as well as extensibility and scalability (0: traditional closed architecture, 10: a full open architecture whose topology can change depending on the application).

Similar measurements can be made for other aspects of openness, such as modularized structure, standardized interface, function and performance requirements and more. Once the relative "openness" of a system is ascertained, however, the trust measure comes when putting the technology into action within a production environment.

Project OCEAN

您是如何定义 CNC 的开放性的呢？能否量化控制系统的开放性呢？Chi Yonglin 在其论文中提出一种对控制系统开放性的重要特征进行等级划分的方法。分级范畴包括：控制系统应用领域（0 级表示该控制器仅为特定设备设计；10 级表示它可以应用于制造工具的所有领域），以及控制系统的扩展性和测量性（0 级表示传统的封闭式结构，10 级表示完全开放的开放式结构，可以根据应用改变其拓扑结构。）还可以用类似的方法评估控制系统开放性的其他特征，例如模块化结构、标准化接口、功能性能需求等。

一旦这些“开放性”标准被确定，并应用于实际生产时，真正的考验才正式开始。



智能数控机运行现场教学照片。图片来源：K. Pietruszewicz 和 Control Engineering

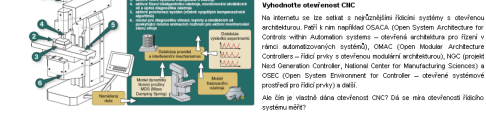
Project OCEAN 介绍
 Project OCEAN (高性能制造设备开放式模块控制系统) 是由波兰华沙约瑟夫理工大学机电融合中心研究小组提出的一项波兰科学技术研究基金项目。
 该组织七年的研究内容包括：
 ● 控制运动建模；
 ● 多种控制算法开发，包括基于自适应算法、模糊逻辑算法、神经网络算法和混合系统预测控制；
 ● 激光加工运动误差；
 ● 4D 运动控制建模。
 Project OCEAN 项目成员包括约瑟夫理工大学机电融合中心多个研究小组正在进行的四个机电一体化项目之一。该项目成员包括数位教授、六位博士、四位在工业自动化管理博士，由经验丰富的电气工程工程师 Stefan Duda 教授担任项目主管。

运动目标断工具
 OCEAN 的主要目标是引入一个开放式接口以加强刚体运动的诊断功能，然后对其进行测试并推向市场。其内容主要包括：
 ● 先进运动控制算法；
 ● 不同的估计算法，包括 Kalman (贝叶斯与神经网络)，三维几何的数学表示；

MEZINÁRODNÍ POHLED: Otevřené architektury pro CNC

Většina systémů číselkového řízení obráběcích strojů (Computer Numerical Control – CNC) je pro uživatele uzavřená. Technici obvykle mohou programovat pouze stroj, a to i tak, pokud má nějaký vizuální výstup (3D vizualizaci a simulaci procesu, předem definované cykly frézování nebo soustružení, či dokonce malý systém CAD/CAM), uživatel je nemůže svobodně modifikovat.

Řídicí systémy s otevřenou architekturou, ať už je vývojářům ohrobu jakékoliv, jsou vzhledem k trendům moderní technologie řídicích systémů „otevřenost“ je velmi měřitelným způsobem popisovateli soudařských řídicích systémů.



Inteligentní CNC obepje detailní provedení vlastní diagnostiky. Společnost K. Pietruszewicz a Control Engineering Prospektivně pro posouzení otevřenosti architektury velkých řídicích systémů jsou uvedeny v dokumentu Chi Yonglin „Prostor pro hodnocení řídicích prvků otevřené architektury“ (An evaluation space for open architecture controllers, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005).

Na kategorizaci hodnocení patří používání v doménách řídicích systémů (klasifikace 0 znamená, že řídicí prvky byly navrženy jako speciální zařízení, klasifikace 10 znamená, že řídicí prvky lze použít ve všech oblastech výrobního průmyslu) a jejich rozlišitelnost a škálovatelnost (0 – tradiční uzavřená architektura, 10 – zcela otevřená architektura, její topologie se může měnit podle aplikace).

Podobná měření lze provést pro další aspekty otevřenosti, jako je modularizovaná struktura, standardizované rozhraní, funkce a výkonové požadavky a další. Po objasnění měření „otevřenost“ systému vůči představení jeho základní struktury – včetně technologie, do které je vložen – lze provést.

Projekt OCEAN
 Projekt OCEAN (Open modular Control system for hVFA moduli drive – otevřený modulární řídicí systém pro pohon tříděných poháněvek) je výzkumným grantem poskytnutým Ministerstvem školství, mládeže a tělesné výchovy, zaměřeným na výzkumný tým z oblasti mechatroniky při Technické univerzitě ve Štětíně. Zahrnuje:
 ● modelování kinematické funkce;
 ● vývoj mecha řídicích algoritmů, včetně robotických pro dva stupně volnosti, fuzzy logiky, neuronových sítí a predikčního a hybridního řízení;
 ● implementaci algoritmů řízení;
 ● modelování požadavků CNC strojů.

Projekt OCEAN patří k průběhům projektů v oblasti mechatroniky, realizovaným interdisciplinárním týmem v univerzitním středisku mechatroniky při Technické univerzitě ve Štětíně. Tímto týmem profesorů, šest doktorů, šest studentů a vedoucí projektu OCEAN, profesor Stefan Duda z Fakulty elektrotechniky. Autodiagnosticska pro obráběcí stroje
 Mezi jinými cíli projektu OCEAN je zavést otevřené rozhraní pro vývoj diagnostických funkcí frézování, soustružení a obrábění je uzavřeným.

Zahrnuje:
 ● počáteční algoritmy poháněvků;
 ● 4D řídicí algoritmy, například Kalman (Bayes a neural network), matematická modelování trojrozměrné geometrie;
 ● řešení řízení obráběcího stroje (RMC);
 ● modelování požadavků CNC strojů;
 ● rozhraní pro nové řídicí programovací jazyky;
 ● rozhraní pro nové řídicí řídicí systém soudařské postavení.

Objevíme jakékoliv novout.
 ● kompletní řídicí model kinematické funkce;
 ● integrovaný autodiagnosticska nástroj;
 ● systém řízení kinematické funkce (v závěrečné fázi vývoje je systém určený jako počítačový řídicí nástroj).

Rys. 2. Publikace na temat produktu w ogólnościowej w prasie branżowej