

W kierunku samoorganizujących się środowisk wytwórczych

Towards self-organizing production environments

PIOTR SZULEWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.63>

Omówiono innowacje techniczne w dziedzinie robotów, sterowania programowego i komponentów automatyki zaprezentowane podczas Hannover Messe 2017, w tym: ideę Industry 4.0, smart factory, nowe koncepcje sterowania, oprogramowanie wspomagające proces wytwarzania, systemy Internetu rzeczy i zdalną diagnostykę.

SŁOWA KLUCZOWE: Hannover Messe 2017, Industry 4.0, cyfrowa fabryka, Internet rzeczy, automatyka przemysłowa, roboty współpracujące, sieci przemysłowe

The paper illuminates the software-technical innovations in automation industrial equipment presented at the Hannover Messe 2017: the new idea of Industry 4.0, Internet of things, smart factory, communication via field buses, Co-bots, industrial communication.

KEYWORDS: Hannover Messe 2017, Industry 4.0, smart factory, Internet of things, industrial automation, co-robots, field-buses

Na targach Hannover Messe 2017 (zorganizowanych już po raz 60.), które odbywały się w dniach 24–28 kwietnia, zaprezentowało się 6,5 tys. wystawców z całego świata. Ponad 60% firm pochodziło spoza Niemiec. Targi odwiedziła rekordowa liczba gości – 225 tys. Aż 30% z nich przyjechało do Hanoweru z zagranicy.

Poza tradycyjnymi prezentacjami na stoiskach wystawienniczych wygłoszono także blisko 1,5 tys. referatów naukowo-technicznych oraz odczytów popularyzatorskich. W tym roku krajem partnerskim targów była Polska, co pozwoliło na zaprezentowanie oferty ponad 200 krajowych przedsiębiorstw.

Hasłem przewodnim tegorocznej edycji było: „Inteligentne technologie pozytywnie wpływają na wzrost dynamiki rynku przemysłowego”. Targi zostały podzielone na sześć obszarów tematycznych:

- komponenty automatyzacji – roboty, coboty, manipulatory,
- napędy i sterowanie,
- cyfrowa fabryka – integracja informatyczna,
- energia – generowanie, przechowywanie i przesyłanie,
- technologia sprężonego powietrza oraz próżni,
- łańcuchy dostaw komponentów.

Pomimo trudnej sytuacji w sektorze szeroko pojętej automatyki przemysłowej w 2017 r. prognozowany jest wzrost obrotu o co najmniej 1,8%, co niewątpliwie stanowiło pozytywny bodziec i zachęcało zarówno wystawców, jak i gości do aktywnego udziału w wydarzeniu. Spośród wielu poruszanych tematów i zagadnień można zdecydowanie sformułować kilka wątków uznawanych obecnie za kluczowe dla rozwoju. Były to:

- usługi związane z efektywną analizą wielkich ilości danych w systemach chmurowych,
- wzrost znaczenia różnorodnych aplikacji programowych,

- koncentrowanie się na wydajnych systemach przesyłania danych (zwłaszcza oferujących pełny determinizm czasowy),

- wykorzystywanie sztucznej inteligencji w wytwarzaniu (do przetwarzania danych, wnioskowania, sterowania),

- szerokie zastosowanie robotów współpracujących.

Obrabiarki mobilne

W tradycyjnym ujęciu obrabiarki i maszyny technologiczne mają stałe miejsca w hali produkcyjnej. Przedmioty obrabiane są dostarczane/transportowane do odpowiednich gniazd obróbkowych. W przypadku przedmiotów o stosunkowo niewielkich wymiarach i niezbyt dużej wadze jest to podejście jak najbardziej uzasadnione. Jednak przy obróbce elementów wielkogabarytowych (dla przemysłu lotniczego, turbin wiatrowych itp.) i o znacznym ciężarze ich transport staje się zadaniem skomplikowanym, wymagającym dużych nakładów sił i przestrzeni.

Badacze z IFW (Hannover University) zaproponowali nową koncepcję. Polega ona na zastosowaniu obrabiarki przemieszczających się do przedmiotu obrabianego w miarę realizacji kolejnego zadania obróbkowego. Kinematyka maszyny jest oparta np. na pięciu osiach sterowanych (trzech liniowych i dwóch obrotowych). Aby zwiększyć moc, w napędach liniowych zastosowano podwójne silniki. Taka obrabiarka (rys. 1) zostanie wyposażona w różnego rodzaju narzędzia, rozbudowane systemy sensoryczne, dedykowane oprogramowanie sterujące i specjalizowane algorytmy pozwalające na zachowanie wymaganej dokładności obróbki. Wszystkie komponenty będą oczywiście zgodne z ideą Industry 4.0. Przewidywane jest zastosowanie tego typu urządzeń w takich procesach technologicznych, jak: pomiary, szlifowanie i obróbka skrawaniem (wiercenie, frezowanie).



Rys. 1. Model koncepcyjny mobilnej frezarki Picum One [1]

Sterowniki PLC

Interesujące działania – w duchu koncepcji Industry 4.0 – są podejmowane w obszarze tradycyjnych sterowników programowalnych PLC. Ta grupa urządzeń automatyki jest nadal najpowszechniej wykorzystywana w przemyśle

* Dr inż. Piotr Szulewski (maxer@cim.pw.edu.pl) – Instytut Technik Wytwarzania Politechniki Warszawskiej



Rys. 2. Rodzina najnowszych sterowników PLC firmy Omron [2]

– zwłaszcza na poziomie hali produkcyjnej. Ponieważ obserwowany jest coraz większy przepływ danych – gromadzonych przez coraz liczniejsze czujniki, elementy wykonawcze i urządzenia klasy IIoT z jednoczesnym wykorzystaniem standardowych środków komunikacji – dlatego transfer istotnych informacji do ośrodków przetwarzania umieszczonych w środowisku chmury (na zewnątrz zakładu) może stanowić realną przeszkodę (wąskie gardło) we wprowadzaniu koncepcji cyfrowej fabryki. Aby temu zaradzić, firma Omron proponuje rozszerzenie zadań tradycyjnego sterownika PLC (rys. 2) dzięki doposażeniu go w elementy sztucznej inteligencji (zaawansowane algorytmy), tak aby zastąpić wiedzę i intuicję wykwalifikowanych inżynierów oraz zwiększyć ilość danych przetwarzanych lokalnie (w sterowniku), bez odwoływania się do chmury. Warto zauważyć, że takie podejście pozwala na swobodną obróbkę danych (dotyczących wibracji, położenia i temperatury) zbieranych w okresach nawet milisekundowych. Analiza i wykorzystanie tych połączonych danych umożliwiają przewidywanie błędów obrabiarki/narzędzia/procesu i skuteczne zapobieganie przestojom sprzętu oraz pogorszeniu jakości produktu finalnego.

Wbudowane inteligentne algorytmy są przygotowane np. do nauki powtarzających się ruchów urządzeń dzięki precyzyjnym pomiarom. Jest to możliwe w efekcie zastosowania sprzężenia zwrotnego do monitorowania stanu i sterowania maszyną w czasie rzeczywistym. Przykładowy schemat działania sterownika wygląda następująco:

1. Pozyskiwanie danych pomiarowych (przyspieszenia, napięcia itp.) oraz procesowych (parametry obróbki, narzędzia itp.), indeksowanie czasowe i tworzenie rozbudowanych danych strukturalnych.
2. Regularne lub okazjonalne generowanie zestawów danych będących obrazami chwilowego stanu maszyny i procesu.
3. Na podstawie zagregowanych danych tworzenie cyfrowego modelu obrabiarki z zastosowaniem analizy przyczynowej (przyczyna–efekt).
4. Wysyłanie do systemów nadzoru nadrzędnego wyników obliczeń tworzących zaktualizowany model procesu.

Internet rzeczy (IoT/IIoT)

Jak dotąd nie ma jednej, powszechnie uznawanej definicji określającej fenomen Internetu rzeczy lub przemysłowego Internetu rzeczy (IoT lub IIoT). Wiele organizacji i firm opracowało na własny użytek lokalne taksonomie i kategoryzacje (urządzeń, aplikacji IoT i ich zastosowania). Mogą być to etykiety (RFID) do identyfikacji towarów i usług w masowej produkcji, urządzenia noszone (*wearable computers*), struktury lokowane w inteligentnych domach lub miastach. Należy przyjąć, że przypadki użycia IoT/IIoT mogą się rozciągać na niemal każdy aspekt produkcji (rys. 3). Wynikiem będzie zdecydowany wzrost ilości generowanych i przetwarzanych danych. W miarę



Rys. 3. Koncepcja współpracy (M2M) maszyn technologicznych

wzrostu liczby podłączonych do Internetu urządzeń spodziewany jest wzrost ruchu sieciowego.

Firma Cisco szacuje, że ruch internetowy generowany przez urządzenia inne niż komputery PC wzrośnie z 40% w 2014 r. do 70% w 2019 r. Przewiduje także, że liczba połączeń typu maszyna–maszyna (M2M), przemysłowych, domowych, opieki zdrowotnej, motoryzacji i innych zastosowań IoT/IIoT wzrośnie z 24% w 2014 r. do 43% w 2019 r. [3].

Wielu badaczy podkreśla kluczową rolę, jaką w najbliższym czasie odegra właśnie koncepcja IIoT [4]. Jako jedną z podstawowych korzyści wymienia się uzyskanie bardzo szczegółowego opisu wszystkich etapów produkcji, co może być istotne zwłaszcza w przypadku pojawiających się braków, awarii, określania rzeczywistych nakładów oraz kosztów lub poszukiwania źródeł oszczędności w perspektywie dalszego rozwoju firmy. Jak dotychczas jedynie niewielkie grono firm jest gotowe na efektywne wprowadzenie IIoT w swoje środowisko.

Wyróżnia się cztery główne obszary trudności związanych z wprowadzaniem tej koncepcji:

- wybór początkowego etapu procesu technologicznego, od którego rozpocznie się wprowadzanie idei IIoT w środowisko wytwórcze zakładu,
- nieprzystosowanie obecnych systemów komunikacji informatycznej do transmisji zwiększonej ilości danych oraz sztywna struktura topologii połączeń,
- powszechnie obecnie wykorzystywana scentralizowana charakterystyka produktów automatyki,
- trudności w opracowaniu uniwersalnych środowisk programistycznych pozwalających na efektywne tworzenie oprogramowania elementów IIoT.

Warto zauważyć, że producenci coraz częściej określają swoje wyroby jako „aktywne komunikacyjnie”, co ma podkreślać ich możliwości współpracy ze współczesnymi systemami transmisji danych w standardzie cyfrowej fabryki.

Cyfrowa, czyli inteligentna fabryka

Koncepcja współczesnej, cyfrowej fabryki opiera się na pełnej implementacji trzech głównych modułów:

- całkowitej integracji informatycznej (*connected factory*) polegającej na skutecznym połączeniu nawet pojedynczych obrabiarek i maszyn technologicznych z nadrzędnymi strukturami zarządzania przedsiębiorstwem, co pozwoli na tworzenie, przechowywanie oraz przetwarzanie istotnych informacji faktycznie opisujących bieżący stan produkcji, tworzenie (symulację) obrazu finalnego produktu i całej produkcji w środowisku rzeczywistości wirtualnej, aby ułatwić analizę wykonalności oraz szacowanie kosztów zlecenia,
- interaktywnej współpracy (*collaborative factory – interactive*) umożliwiającej wykorzystanie robotów nowej generacji (współpracujących), co powinno skutkować

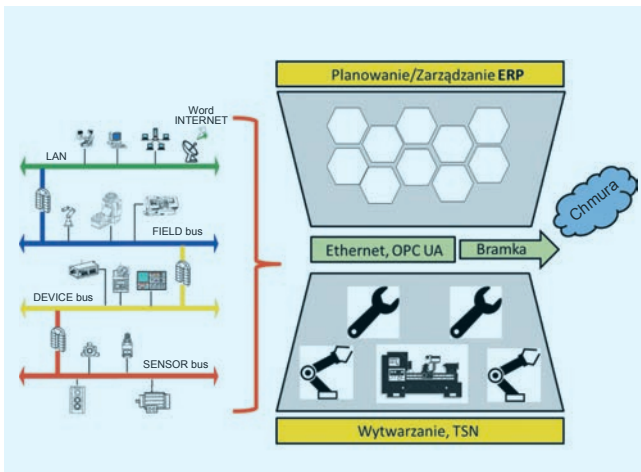
połączeniem ludzkiej intuicji, elastyczności, wiedzy i możliwości adaptacyjnych z wyjątkową dokładnością, powtarzalnością, szybkością, siłą i autonomią maszyn,

- inteligentnego zarządzania (*smart factory – intelligent*) poprzez stosowanie nowych algorytmów i zaawansowanego przetwarzania dużych (zagregowanych/precyzyjnych) danych, wprowadzenie skutecznego prognozowania awarii/uszkodzeń, ulepszenia procesu wytwarzania, łatwego dostosowania produktów do szczególnych wymagań odbiorców, pełnego śledzenia produkcji, znacznej redukcji kosztów, zasobów, zużywanej energii oraz odpadów produkcyjnych.

Cyfrowa fabryka przyszłości wpływa także na zmianę klasycznych, ugruntowanych modeli komunikacji, powodując ich całkowitą modernizację. Klasyczny model piramidy automatyzacji (istniejący od ponad 20 lat) składa się z dobrze zdefiniowanych warstw ułożonych w ten sposób, że informacje przepływają w górę – z urządzeń wykonawczych do struktury zarządzania przedsiębiorstwem (na poziomie kontroli, nadzoru i zarządzania). Choć model ten jest dobrze ugruntowany, to należy przyznać, że przepływ danych nie jest efektywny [5]. W każdej z warstw obecnej piramidy istnieją różnorakie wymagania funkcjonalne, co doprowadziło do opracowania specyficznych dla danego zadania metod komunikacji (standardów i protokołów). Kwestia ta jest szczególnie dotkliwa na dolnym piętrze modelu (na poziomie sterowania urządzeniami technologicznymi). Wymaga ono zapewnienia komunikacji w czasie rzeczywistym i spełnienia rygorystycznych wymagań bezpieczeństwa. Brak jednolitej normy komunikacji doprowadził do powstania mnóstwa konkurencyjnych protokołów. Skutkiem jest niekompatybilność nie tylko wewnątrz, ale także pomiędzy warstwami. Urządzenia automatyki często obsługują kilka różnych protokołów przemysłowych jedynie po to, by spełnić żądania użytkownika końcowego, np. systemu klasy MRP.

Taki stan rzeczy nie jest zgodny w ideą otwartej architektury informacyjnej proponowanej w Industry 4.0. Konieczne jest nowe podejście do problemu efektywnej wymiany danych. Modułarna struktura informacyjna jest warunkiem tworzenia elastycznych, adaptujących się i inteligentnych systemów produkcyjnych. Na rys. 4 przedstawiono zmiany zachodzące w systemach komunikacji informatycznej zakładów przemysłowych.

Wyraźnie widoczne jest spłaszczenie dotychczasowej struktury piramidy (obecnie przypominającej klasyczne YoYo). Wynika to z coraz szerszego wykorzystywania popularnego standardu Ethernet do transmisji danych,



Rys. 4. Ewaluacja piramidy automatyzacji w kierunku YoYo [6].

także w środowiskach wymagających systemów zgodnych z regułami czasu rzeczywistego (sterowaniu, monitorowaniu, nadzorze). Koncepcja sieci TSN (*time-sensitive networking*, IEEE 802.1Q) pozwala na skuteczną wymianę danych również pomiędzy urządzeniami wykonawczymi, stanowiącymi podzespoły obrabiarki. Standard TSN składa się z wielu elementów. Przykładowo wprowadzone jest synchronizowanie czasu transmisji pakietów, planowanie trasy ich dostarczenia, możliwości rekonfiguracji sieci itp. W przypadku informacji niewymagających spełnienia tak rygorystycznych warunków (raportowania, planowania, zarządzania) coraz częściej korzysta się ze znanego protokołu OPC UA (*united architecture*), również wykorzystującego sieć w standardzie Ethernet. Najnowsze implementacje pozwalają na wymianę danych w trybie publikacji/subskrypcji i wspierają wszystkie technologie pracy w chmurach obliczeniowych. Należy sądzić, że taka koncepcja będzie w najbliższych latach coraz bardziej popularna w środowiskach przemysłowych.

Bezpieczeństwo informacji

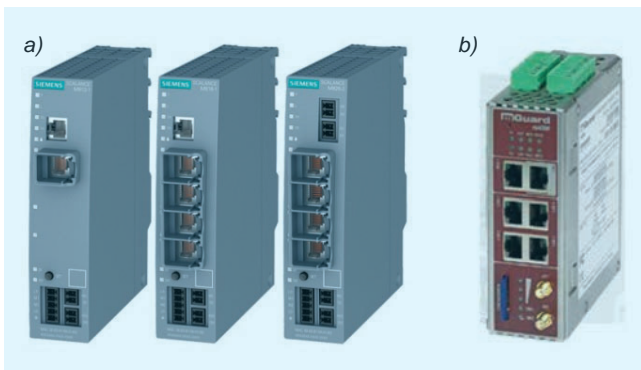
Wprowadzenie skutecznej cyfryzacji produkcji jest bezpośrednio związane z tworzeniem, przetwarzaniem i przesyłaniem ogromnych ilości danych szczegółowo opisujących realizowane procesy. Informacje takie zawierają często opisy unikalnych technologii, tajemnice firmy czy dane parku maszynowego. Stanowi to potencjalne, poważne zagrożenie związane z ich przechwyceniem lub nieautoryzowanym dostępem do nich (np. firm konkurencyjnych). Zagadnienia bezpieczeństwa komunikacji i dostępu do zakładowych systemów informatycznych są na tyle istotne, że na rynku coraz częściej pojawiają się specjalizowane urządzenia, programy lub nawet środowiska mające na celu zabezpieczenie poufności oraz integralności danych.

Jako podstawowe zagrożenia dla cyfrowej fabryki wymienia się przede wszystkim takie obszary, jak:

- inżynieria społeczna i wyłudzenie informacji (*social engineering and phishing*) – przeciwdziałanie polega na: zabezpieczaniu korespondencji elektronicznej, utrudnianiu nieskrępowanego dostępu pracowników do niezabezpieczonych lub potencjalnie podejrzanych obszarów Internetu,
- szkodliwe oprogramowanie (*malware*) – przeciwdziałanie: blokowanie możliwości korzystania z przenośnych pamięci i nośników danych, kodowanie zawartości istotnych plików,
- zdalne serwisowanie (*remote maintenance access*) – przeciwdziałanie: uniemożliwianie samodzielnego przeprowadzania przez sterowniki lub komputery przemysłowe odnawiania oprogramowania systemowego, instalacji dodatkowego oprogramowania, wysyłania raportów technicznych bez autoryzacji odpowiedzialnych operatorów, wspieranie połączeń VPN (*virtual private network*),
- sabotaż lub błędy obsługi (*human error or sabotage*) – przeciwdziałanie: wprowadzanie systemów hasła i konieczności autoryzacji działań podejmowanych przez operatorów i pracowników działu informatyki, egzekwowanie szkoleń i polityki odświeżania praw dostępu, korzystanie z fizycznego blokowania dostępu do urządzeń sieciowych,
- bezpośredni dostęp do Internetu (*direct Internet access*) – przeciwdziałanie: badanie stanu sieci pod kątem występowania niezabezpieczonych (swobodnych) sterowników i komputerów, tworzenie barier sprzętowo-programowych, wydzielenie stref bezpiecznych DMZ (*demilitarized zone*), korzystanie z zaufanych programów,

- awarie i błędy sprzętu (*technical malfunction*) – przeciwdziałanie: permanentna aktualizacja wewnętrznego oprogramowania urządzeń sieciowych (*firmware*), automatyczna kontrola diagnostyki sprzętu,
- łączność bezprzewodowa (*wireless communication*) – przeciwdziałanie: ograniczanie mocy i zasięgu połączeń radiowych, stosowanie ekranowania, szyfrowanie transmisji, wydzielanie grup urządzeń,
- użytkowanie aplikacji w chmurze (*cloud computing*) – przeciwdziałanie: ograniczanie zlecenia firmom zewnętrznym przetwarzania niewrażliwych danych, tworzenie połączeń szyfrowanych,
- korzystanie z urządzeń mobilnych (*smartphones in industrial environment*) – przeciwdziałanie: tworzenie dla systemów przenośnych aplikacji z ograniczoną funkcjonalnością, prowadzenie ścisłego nadzoru nad urządzeniami mobilnymi dołączanymi do sieci zakładowej,
- ataki infrastrukturalne (DoS – *distributed denial of service attack*) – przeciwdziałanie: stałe monitorowanie sprzętowych interfejsów sieciowych na granicach DMZ, blokiwanie nieużywanych portów komunikacyjnych.

Wydzielane są zazwyczaj dwa osobne zagadnienia: bezpieczeństwo sieci przemysłowych w warsztacie/hali maszyn oraz bezpieczeństwo sieci informatycznych. Problematyka ta jest dostrzegana przez producentów sprzętu i oprogramowania do automatyki przemysłowej. Przykładem może być cała gama urządzeń firmy Siemens. Na rys. 5a pokazano specjalnie opracowane, bezpieczne, sprzętowe procesory komunikacyjne (Scalance M872-2). Również firma Phoenix Contact oferuje urządzenia odpowiedzialne za bezpieczeństwo komunikacji w sieci zakładowej, np. inteligentne/zarządzalne przełączniki Ethernet (rys. 5b).



Rys. 5. Rodzina procesorów komunikacyjnych Scalance [7] (a); przełącznik sieci Ethernet mGuard rs4000 4TX/3G/TX VPN firmy Phoenix Contact [8] (b)

Monitorowanie obrabiarki i procesu

Wynikająca z idei Industry 4.0 konieczność gromadzenia szczegółowych i aktualnych danych opisujących stan procesu wytwarzania oraz poszczególnych maszyn technologicznych została zauważona przez producentów sterowników i komponentów do automatyki. Źródłem informacji mogą być pomiary wartości sił, ciśnienia, temperatury, prędkości przemieszczania, prędkości obrotowej, częstotliwości, rozwijanego momentu, naprężeń, drgań, prądu, napięcia i innych [9]. Wobec mnogości układów pomiarowych logicznym kierunkiem działań producentów jest przygotowanie uniwersalnych układów pomiarowych w maksymalny sposób automatyzujących proces tworzenia środowiska pomiarowego. Oferowane są specjalizowane moduły pozwalające na pobieranie danych



Rys. 6. Uniwersalne moduły pomiarowe firmy Beckhoff [10]

znajróżniejszych czujników, które mogą być w nieskomplikowany sposób dołączane do struktury sterowania obrabiarki – również w układach sterowania już działających maszyn.

Przykładem takiego postępowania może być rodzina produktów firmy Beckhoff (ELM 36xx i 37xx). Moduł dołączany do sterownika PLC/PAC (rys. 6) jest wyposażony w cztery niezależne kanały pomiarowe dysponujące 24-bitowymi przetwornikami analogowo-cyfrowymi. Maksymalna częstotliwość próbkowania pozwala na gromadzenie 50 000 próbek/s. Zapewniona jest stała synchronizacja z wewnętrznym lub nadrzędnym zegarem wzorcowym w oknie czasowym poniżej 1 μ s. Osiągana dokładność pomiaru jest lepsza niż 100 ppm (*parts per milion*), co oznacza wartość mniejszą niż 0,01%. Aby ułatwić tworzenie oraz obsługę systemu pomiarowego, dołączane są specjalizowane pakiety oprogramowania (do monitoringu, analityki, wizualizacji, tworzenia interaktywnych wykresów). W ich skład wchodzi gotowe biblioteki cyfrowych filtrów, a także moduły do określania współczynników korekcyjnych oraz szybkiej analizy widmowej i innych analiz, co wydajnie przyspiesza i ułatwia pracę projektantów. Wszystkie dane mogą być udostępniane zewnętrznym programom pomiarowo-analitycznym, ponieważ środowisko programistyczne TwinCat wspiera technologie chmurowe oraz Internet rzeczy.

Kolejnym przykładem tworzenia zaawansowanych systemów pomiarowych do wykorzystania samodzielnie lub jako element eksploatowanej maszyny technologicznej jest produkt firmy Ahlborn. Moduł Almemo 710 (rys. 7) to uniwersalny system gromadzenia danych pomiarowych. Umożliwia jednoczesne dołączenie 10 dowolnych źródeł sygnałów analogowych. W każdym kanale możliwe jest zapisywanie do 100 próbek/s. Wbudowane akumulatory pozwalają na niezależną od stałych źródeł zasilania pracę przez wiele godzin (pobór prądu w trybie uśpienia 0,05 mA). Zapisywane dane mogą być na bieżąco przesyłane do systemów nadrzędnych (USB lub Ethernet) lub analizowane i prezentowane na wbudowanym ekranie LCD.



Rys. 7. Mobilny moduł pomiarowy Almemo 710 firmy Ahlborn [11]

Naturalnym kierunkiem działań jest bezpośrednie udostępnianie danych z układów IIoT do aplikacji działających w chmurze. Najbardziej obiecujące są urządzenia uniwersalne, pozwalające na przesyłanie informacji z obrabiarki do Internetu. Taką funkcję pełnią bramki sieciowe. Przykładem może być produkt DataEagle 7050 firmy Schildknecht (rys. 8). Urządzenie może współpracować z siecią miejscową dowolnego standardu. Dane są przesyłane za pomocą transmisji pakietowej z wykorzystaniem bezprzewodowych sieci telefonicznych w każdym z istniejących na świecie standardów (2G, 3G, 4G, 5G). Wewnętrzne mechanizmy kompresji i szyfrowania danych pozwalają na kodowanie informacji i wysyłanie ich bezpośrednio w jednym z wybranych protokołów (OPC UA, Reest API, MQTT, XML, SMS, Twitter, FTP, Mail), co zmniejsza obciążenie chmury obliczeniowej.



Rys. 8. Inteligentny transponder danych IoT/chmura DataEagle 7050 firmy Schildknecht [12]

Posiadanie szczegółowych i aktualnych danych o wykorzystywanej w procesie technologicznym obrabiarkie może skutecznie wpłynąć na zmianę dotychczasowych relacji pomiędzy użytkownikiem a producentem maszyny. Obecnie działania naprawcze podejmowane są po ujawnieniu się błędnego jej działania lub dopiero po wystąpieniu awarii. Dalekosiężnym celem jest zmiana tradycyjnej zależności i ustanowienie aktywnego kontaktu pomiędzy użytkownikiem, producentem i konstruktorem obrabiarki, tak aby nie dopuścić do powstania uszkodzeń wymagających wyłączenia obrabiarki z eksploatacji.

Taką właśnie filozofię działania promuje firma Weidmüller. Proponowane jest specjalne oprogramowanie (Advanced Analytics) mające na bieżąco monitorować stan obrabiarki i przewidywać ewentualne problemy – rys. 9. Jednak nie jest to łatwe zadanie. Obecnie, dzięki instalacji coraz większej liczby czujników, dostępnych jest wiele informacji (o temperaturze, ciśnieniu, zużyciu energii, wibracjach). Efektem tego jest generowanie coraz większej ilości danych.

Najważniejszym działaniem jest odpowiednie przetworzenie danych (pominięcie zjawisk nieistotnych lub



Rys. 9. Konceptcja zaawansowanej analizy danych według firmy Weidmüller [13]

nadmiarowych) w celu uzyskania rzeczywiście cennych informacji. Jedną z koncepcji jest poszukiwanie wzorców zachowania się obrabiarki, co stanowi podstawę do zrozumienia właściwego zachowania się maszyny podczas obróbki i umożliwia opracowanie modelu. Jeśli dane pozyskiwane na bieżąco różnią się od przyjętego modelu, oznacza to wystąpienie anomalii. Jeśli wielokrotnie powtarza się taka anomalia, prawdopodobnie oznacza to błąd. Postępując zgodnie z taką procedurą, możliwe jest przewidywanie stanu maszyny i umożliwienie użytkownikom podejmowania aktywnych działań na rzecz uniknięcia poważnej awarii. Siłą programów prowadzących nadzór nad stanem obrabiarki lub procesu jest więc umiejętność zręcznego filtrowania danych i przeprowadzania zaawansowanej analizy wybranych informacji.

Roboty współpracujące

Współczesna produkcja, a właściwie wszechobecna na rynku konkurencja, wymaga skracania czasu wykonania produktu, elastycznego podejścia do wymagań klienta, zindywidualizowanej oferty produkcyjnej, najwyższej jakości produktu i co najmniej umiarkowanej ceny. Tak bardzo zróżnicowane kryteria zmuszają do zmiany tradycyjnego rozumienia pojęcia wytwarzania jako sekwencji rozdzielnych czynności wykonywanych przez pracowników, obrabiarki, systemy transportu i roboty.

Jesteśmy świadkami przełomu w robotyce. Począwszy od wydzielonych obszarów (komórek), gdzie pierwotnie instalowano systemy zrobotyzowane (zabezpieczone przed przypadkowym nawet kontaktem z ludźmi), poprzez wydzielone współistnienie (skracanie dystansu), synchronizowaną pracę, aż do współczesnej strategii, czyli swobodnej, nieskrępowanej współpracy. Taki stan mogą oferować roboty współpracujące (coboty). Ich konstrukcja musi jednak uwzględniać specyficzne wymagania związane z obecnością człowieka w polu działania robota. Są to: pełna kontrola siły i dynamiki ruchu napędzanych ramion z zachowaniem delikatności przemieszczania i precyzji w zależności od sytuacji. W przypadku wystąpienia kolizji system nie może stwarzać zagrożenia dla pracownika, zwłaszcza że operator nie jest odseparowany jak w przypadku robota konwencjonalnego. Jednym z kierunków działań pozwalających na wprowadzenie tych wymagań zdaje się stosowanie sekwencji ruchów oraz projektowanie kinematyki robotów współpracujących zgodnie z intuicyjnym działaniem człowieka. Efektem takich działań jest propozycja firmy Festo – BionicCobot (rys. 10).

Konstrukcja jest wzorowana na ręce człowieka, począwszy od górnej części ramienia poprzez łokieć aż do nadgarstka i chwytnej części dłoni. Energię ruchu zapewnia sprężone powietrze. W każdym przegubie jest zainstalowany czujnik ciśnienia i enkoder absolutny. Pomiar i sygnały sterujące są przesyłane za pomocą magistrali CAN, co zapewnia pełną kontrolę w czasie rzeczywistym.



Rys. 10. BionicCobot – robot współpracujący produkowany przez firmę Festo [14]

Sterowanie robota jest realizowane za pomocą specjalnie opracowanego systemu ROS (*robot operating system*), pracującego w formacie graficznym i stanowiącego interfejs środowiska FMS (Festo Motion Terminal). Dokonuje ono niezbędnych przeliczeń kinematycznych, a także mierzy ciśnienie i wydatek powietrza, zwalniając operatora z konieczności kontrolowania sekwencji ruchów. Możliwa jest także praca w trybie uczenia.

Innym interesującym produktem tej firmy jest specjalny chwytak nawiązujący do ramienia ośmiornicy (OctopusGripper, rys. 11). Składa się on z zestawu miękkich



Rys. 11. Elastyczny chwytak OctopusGripper produkowany przez firmę Festo [15]



Rys. 12. Robot modułowy produkowany przez firmę Festo [16]

elementów silikonowych sterowanych za pomocą sprężonego powietrza. Standardowe parametry to: długość 22 cm, waga 190 g, robocze ciśnienie powietrza 2 bary. Po doprowadzeniu powietrza podatny elastyczny zestaw przyssawek wygina się do wewnątrz i może owinać chwytany przedmiot w odpowiedniej pozycji. Siła zacisku jest na tyle duża, że utrzymuje element w tej pozycji, lecz nie powoduje jego trwałego odkształcenia.

W dziedzinie robotów tradycyjnych firma Igus przedstawiła interesującą koncepcję taniego i łatwego w implementacji robota (ramienia sterowanego) przeznaczonego do zadań transportowych i manipulacyjnych (rys. 12). Pomysł opiera się na zastosowaniu prostych i elastycznych w konfiguracji elementów z oferty tej firmy. Poszczególne podzespoły przegubowego ramienia nie wymagają smarowania ani jakichkolwiek działań związanych z utrzymaniem gotowości do pracy. Mnogość dostępnych opcji pozwala na swobodne kształtowanie struktury kinematycznej robota. Zaprezentowany robot w najbardziej rozbudowanej wersji oferuje pięcioosiową swobodę manipulacji i maksymalny udźwig do 8 kg. Proponowana cena to 3200 euro za mechanikę oraz napędy i 5000 euro za wersję z dedykowanym systemem sterowania CPR (Commonplace Robotics). Robot może być nadzorowany i sterowany za pomocą zwykłego tabletu.

Ethernet przewodowy

W koncepcji Industry 4.0 kluczową pozycję zajmuje pozyskiwanie szczegółowych danych o urządzeniach, maszynach i procesie. Podstawowym środkiem transmisji są tradycyjne media przewodowe oferujące niezawodność,

szybkość i dużą przepustowość. Nowe materiały i technologie produkcji pozwalają na zastosowanie ich także tam, gdzie występuje przemieszczenie lub ruch (rys. 13). Jako przykład może posłużyć produkt firmy Lapp, w którym według danych producenta nowy przewód sieci informatycznej Ethernet kategorii 7 (o średnicy 6,4 mm) pozwala uzyskać przepływ danych na poziomie 10 Gbit/s przy zapewnionej wytrzymałości mechanicznej 5 mln skręceń o kąt $\pm 180^\circ$ na długości przewodu równej 1 m. Odporność termiczna dopuszcza stosowanie go w zakresie temperatury od -40 do 105°C . Osłona przewodu jest odporna na agresywne środowiska typu oleje i benzyny. Tak szerokie tolerancje sprawiają, że przewód sprawdza się w bardzo różnych aplikacjach bez konieczności zapewniania osłon, co ułatwia wykonywanie tras przewodowych i zmniejsza ich koszty.

Podsumowanie

Idea Przemysłu 4.0 nie jest celem samym w sobie. Ma być przede wszystkim środkiem tworzenia nowych produktów o większej różnorodności, funkcjonalności i atrakcyjności dla użytkowników z jednoczesną redukcją emisji zanieczyszczeń, odpadów i zużycia energii. Wymagania te wpływają bezpośrednio na formę współczesnej komunikacji informatycznej w przemyśle. Należy jednak



Rys. 13. Nowoczesny przewód standardu Ethernet (kategorii 7) do środowisk przemysłowych [17]

zauważyć, że wciąż istnieje duża różnica pomiędzy proponowanymi, najnowszymi koncepcjami oraz pomysłami dotyczącymi maszyn i technologii a rzeczywistym ich rozpowszechnieniem i wykorzystaniem w warunkach istniejących hal oraz warsztatów produkcyjnych. Opisane kierunki rozwoju są jak najbardziej realne, jednak na ich wdrożenie trzeba będzie jeszcze poczekać.

LITERATURA

1. <http://www.picum-mt.com/#maschine>.
2. <http://blog.omron.eu/industry-4-0-prepared-data-driven-smart-factory-future/>.
3. Cisco Visual Networking Index Predicts Near-Tripling of IP Traffic by 2020, <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=press-release&articleId=1771211>.
4. Internet Society, <https://www.Internetsociety.org/iot/report-InternetofThings-20151015-en>.
5. Szulewski P. „Urządzenia automatyki przemysłowej w środowisku Industry 4.0”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 926–933.
6. Vogel-Heuser B. “The dissolution of the automation pyramid: Machine communication in the smart factory”. *Sercos News-the Automation Bus Magazine*. 1 (2017): s. 12–14.
7. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/449/24960449/att_7074/v1/24960449_s612_remoteaccess_umts_doku_v3_en.pdf.
8. <http://www.phoenixcontact-cybersecurity.com>.
9. Śnieguska-Grądzka D., Szulewski P. „Systemy automatycznego monitorowania drgań w obrabiarkach”. *Mechanik*. 3 (2017): s. 170–175.
10. <https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/ethercat-measurement-modules.htm?id=16333106105508>.
11. http://www.ahlborn.com/en_UK/products/almemo-710.
12. <https://www.schildknecht.ag/produkte/mobilfunkm2m/iot-edge-gateway/>.
13. <http://www.weidmueller.com/int/corporate/customer-magazine-win-in-detail/outpacing-faults>.
14. <https://www.festo.com/group/en/cms/12746.htm>.
15. <https://www.festo.com/group/en/cms/12745.htm>.
16. http://www.igus.com/wpck/17211/robotlink_conf_singleparts.
17. <https://products.lappgroup.com/online-catalogue/data-communication-systems-for-ethernet>.