

Integracja informatyczna kluczowym aspektem środowiska wytwórczego w Przemysle 4.0

IT integration is a spirit of the Industry 4.0 manufacturing environment

PIOTR SZULEWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.100>

Omówiono innowacje techniczne i programowe w dziedzinie robotów, sterowania i komponentów automatyki, zaprezentowane podczas targów Hannover Messe 2018, 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 2018, Przemysł 4.0, cyfrowa fabryka, internet rzeczy, automatyka przemysłowa, roboty współpracujące, sieci przemysłowe

The paper illuminates the software and technical innovations in automation industrial equipment presented at the Hannover Messe 2018: the new idea of Industry 4.0, internet of things, smart factory, communication via field buses, cobots, industrial communication.

KEYWORDS: Hannover Messe 2018, Industry 4.0, smart factory, internet of things, automation, robotics, process monitoring and supervision

Na targach Hannover Messe 2018, które odbywały się w dniach 23–27 kwietnia, zaprezentowało się ponad 5000 wystawców z całego świata. Oprócz znanych, komercyjnych firm znalazło się tam także 150 reprezentantów uczelnianych start-upów, którzy promowali swoje innowacyjne pomysły i rozwiązania.

Aż 60% firm pochodziło z 75 krajów spoza Niemiec. Targi odwiedziła rekordowa liczba 210 tys. gości, a co trzeci z nich przyjechał z zagranicy – zarejestrowano ponad 2700 widzów z Polski.

Poza tradycyjnymi prezentacjami na stoiskach wygłoszono także blisko 1400 referatów naukowo-technicznych oraz odczytów popularyzatorskich. W tym roku krajem partnerskim targów był Meksyk.

Hasłem przewodnim wystawy było: „Zintegrowany Przemysł – Połącz i Współpracuj”. Wydzielono pięć obszarów tematycznych. Były to:

- automatyzacja produkcji i procesów oraz podzespoły automatyzacji,
- cyfrowo zintegrowana fabryka,
- energia, użytkowanie źródeł konwencjonalnych i odnawialnych,
- łańcuchy dostaw materiałów i komponentów dla produkcji,
- prace badawczo-rozwojowe i transfer technologii.

Spośród tematów i zagadnień poruszanych na prezentacjach i konferencjach, dotyczących współczesnej automatyki i automatyzacji produkcji, można zdecydowanie wybrać kilka uznawanych obecnie za kluczowe dla rozwoju:

- uczenie maszynowe,
- sztuczna inteligencja,
- informatyka przemysłowa (cyfrowy model produkcji – *digital twins*),

- autonomiczne roboty wspierające wewnętrzne działania logistyczne,
- współpraca ludzi z robotami (*cobot*),
- zasilanie i przechowywanie energii dla elektrycznych platform mobilnych (*eMobility*).

Nie istnieje jedna definicja Przemysłu 4.0. Ideę tę należy postrzegać jako kreowanie za pomocą systemów informatycznych nowych, w pełni zintegrowanych środowisk wytwórczych, wspólnie realizujących zaawansowane zadania produkcyjne [1]. W takim środowisku jednakowo istotne są dane, maszyny technologiczne, pracownicy i ich wzajemna komunikacja. Dopiero korelacja tych czterech składników tworzy efektywne warunki produkcji.

Nawiązując do myśli wygłoszonej onegdaj przez Henry'ego Forda: *Połączenie sił to początek, pozostanie razem to postęp, ale dopiero wspólna praca to sukces*, można określić obecny etap rozwoju idei Przemysłu 4.0 jako intensywne poszukiwanie skutecznych form jej implementacji w rzeczywistych warunkach przemysłowych.

Internet rzeczy

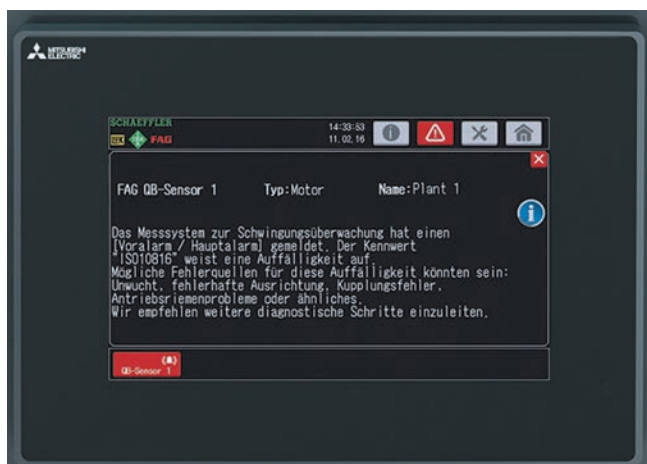
Komponenty IoT, IIoT, AIoT coraz częściej stają się podzespołami obrabiarek, robotów i urządzeń technologicznych. Według raportu „Markets & Markets IIoT in Manufacturing Market – Global Forecast” do roku 2021 rynek przemysłowego internetu rzeczy (IIoT) będzie wzrastać średnio o 27% rocznie, a jego wartość wyniesie globalnie ponad 20 mld USD [2]. Za główne czynniki, które mają wpływ na szybki rozwój IIoT, analitycy uznają konieczność przejęcia kontroli nad infrastrukturą produkcyjną i monitorowania kosztów jej utrzymania oraz wydajności.



Rys. 1. SmartCheck – moduł pomiarowy firmy FAG (www.schaeffler.de)

Dodatkowo, według raportu „Smart Manufacturing Report 2017” [3], firmy, które już wdrożyły systemy IIoT, zauważyły wzrost swojej efektywności od 7 do nawet 50%. Wydatki na energię w takich firmach spadły średnio o 5%, a koszty bezpośrednie zmniejszyły się nawet o 20%. Jest to realny przykład skuteczności cyfryzacji procesów produkcyjnych.

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



Rys. 2. Sterownik SmartQB i analizator SmartCheck – moduł pomiarowy firmy FAG (www.schaeffler.de)

Interesującym przykładem wdrażania idei IIoT jest moduł pomiarowy firmy FAG (rys. 1). Choć SmartCheck jest przeznaczony do monitorowania łożysk (drgań), to dzięki swojej uniwersalności może znaleźć zastosowanie także w innych obszarach (w przypadku obrabiarek, silników, pomp, przenośników taśmowych itp.) [4]. Wykorzystywany w module czujnik pozwala na symultaniczny pomiar przyspieszenia, szybkości, przemieszczenia i temperatury z rozdzielczością 24 bitów, w szerokim zakresie częstotliwości 0,8÷10 kHz. Możliwe jest również dołączanie dodatkowych, zewnętrznych elementów pomiarowych za pomocą istniejącego interfejsu (sygnał analogowy lub cyfrowy). Komunikacja z modulem pomiarowym jest realizowana poprzez sieć w standardzie Ethernet 100 Mbit/s. Z zbudowanym w module serwerem WWW można się komunikować przez zwykłą przeglądarkę – również za pośrednictwem osobistych komunikatorów (tabletu lub smartfona).

Standardowo dostarczane przez producenta oprogramowanie pozwala na analizowanie i wykrywanie uszkodzeń lub monitorowanie stanu łożysk tocznych, niewyważenia mas wirujących, niewspółosiowości oraz uderzeń. Zasilanie modułu (16÷32 VDC) może być dostarczane z zewnętrznego zasilacza lub przesyłane przewodem komunikacyjnym w standardzie PoE (*Power over Ethernet*, IEEE 802.3af). Możliwa jest także praca autonomiczna z wykorzystaniem specjalizowanego sterownika SmartQB (rys. 2). Wewnętrzne oprogramowanie (zawierające predefiniowane algorytmy rozpoznawania niekorzystnych zjawisk, np. kawitacji czy niezbalansowania) analizuje spływające dane i prezentuje wyniki obliczeń w postaci jasnych i łatwych w percepcji komunikatów tekstowych.

Uczenie maszynowe

Przez pojęcie uczenia maszynowego (*machine learning*) należy rozumieć doskonalenie wykonywania określonych zadań na podstawie doświadczenia, czyli zdarzeń z przeszłości. Stanowi ono część sztucznej inteligencji (*artificial intelligence*) lub inteligencji obliczeniowej (*computational intelligence* – CI). Składa się z zabudowanych reguł i algorytmów do wykrywania anomalii lub wyszukiwania interesujących zdarzeń. Korzystając ze zgromadzonych danych, system jest w stanie dokładnie określić miejsca występowania niepokojących objawów i wskazać ich ewentualne przyczyny. Tworząc model funkcjonowania danego urządzenia, może także wspomagać predykcyjne procesy serwisowe. Jest to forma samouczenia się

maszyn i urządzeń. Jeśli nie jest znana reguła, ale do dyspozycji są dane „sprzed wydarzenia” oraz dane „po wydarzeniu” (wejście/wyjście), można wykorzystać sieć neuronową, aby wyszukała korelacje dostępnych danych.

Najpoważniejsze ograniczenie uczenia maszynowego stanowi fakt, że sztuczna inteligencja jest pozbawiona samoświadomości kontekstowej (nie należy więc oczekiwać zrozumienia przez nią sensu rzeczywistości) – odnajduje ona często sprawdzające się schematy, ale tylko człowiek/operator może nadać im sens. W przypadku zdarzeń niestandardowych (unikalnych), niepasujących do dotychczasowych wzorców, nie będzie mogła skutecznie ocenić sytuacji i trudno przewidzieć jej zachowanie [5]. Chodzi tu o zagadnienie kompetencji sztucznej inteligencji do podejmowania decyzji w stanach „nieustalonych”.

W ciągu ostatnich 4–5 lat dokonał się znaczny przełom w tych systemach. Obecnie głównym celem wprowadzania w warunkach przemysłowych technik uczenia maszynowego jest uproszczenie obsługi coraz bardziej złożonych instalacji automatyki poprzez zastosowanie innowacyjnych modeli samouczących, aby uwolnić ludzi od czynności monotonnych, powtarzalnych lub niebezpiecznych.

Według specjalistów z firmy Sick jest absolutnie konieczne, aby współczesne czujniki wykorzystywane w systemach diagnostycznych miały wbudowane mechanizmy uczenia maszynowego. Wpłyne to korzystnie na ich możliwości adaptacyjne w zmieniających się warunkach produkcyjnych i spowoduje wydatne zmniejszenie strumienia danych przesyłanych do aplikacji chmurowych.

Popularnym przykładem stosowania uczenia maszynowego w aplikacjach biurowych jest autokorekta, powszechnie wykorzystywana w komputerowych programach edycyjnych.

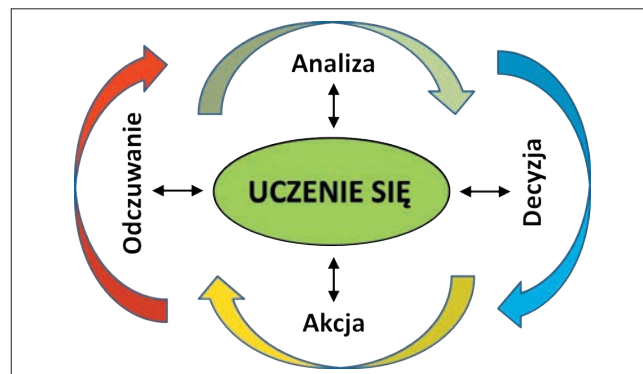
Inteligentne czujniki

Choć analiza danych nie jest niczym nowym, to jednak obecnie ogromne ilości pozyskiwanych danych następczą trudności w ich skutecznym przesyłaniu do centrów obliczeniowych [6]. Z tego powodu prowadzone są działania zmierzające do tworzenia inteligentnych czujników analizujących (*cognitive sensor technology*).

Ich konstrukcja polega na połączeniu trzech współpracujących podzespołów:

- elementu pomiarowego, który mierzy jeden lub więcej parametrów fizycznych procesu lub obiektu,
- elementu obliczeniowego analizującego wykonywane pomiary,
- interfejsu komunikacyjnego, który umożliwia wymianę informacji z innymi systemami.

Na rys. 3 przedstawiono ideę działania inteligentnego czujnika.



Rys. 3. Koncepcja zastosowania inteligentnych, niezależnych czujników

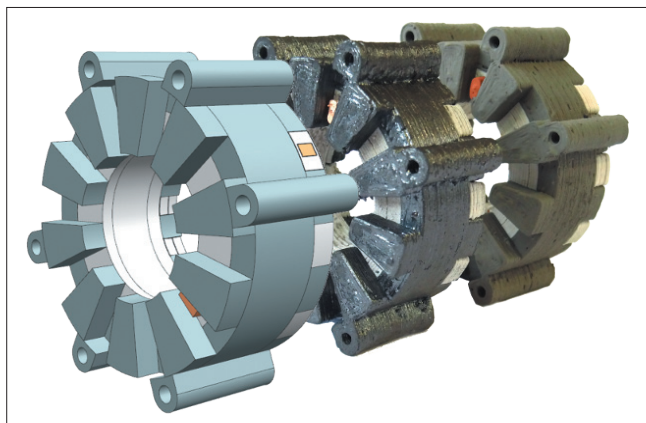
W założeniu takie czujniki nie są przeznaczone do samodzielnej pracy, lecz powinny tworzyć specjalizowaną sieć pomiarową, która będzie się charakteryzować bardzo specyficznymi właściwościami, takimi jak:

- samouzdrawianie (*self-healing*): polegające na wykrywaniu, diagnozowaniu i reagowaniu na zakłócenia w sieci komunikacyjnej,
- samooptrymalizacja (*self-optimization*): automatyczne monitorowanie i dostosowywanie zasobów (pamięci, mocy procesora, interfejsu komunikacyjnego) do zmieniającego się procesu,
- samokonfiguracja (*self-configuration*): dynamiczna zmiana parametrów konfiguracyjnych w odpowiedzi na zmienne warunki procesu i stany sieci,
- samoochrona (*self-protection*): przewidywanie, wykrywanie i identyfikacja zagrożeń oraz ochrona przed zagrożeniami (wewnętrznymi lub zewnętrznymi, przypadkowymi lub złośliwymi) pochodzącymi z dowolnego miejsca w systemie akwizycji danych,
- samoobsługa (*self-service*): samoczynne świadczenie usług pomiaru, przetwarzania i rozpowszechniania danych z przewidywaniem koniecznych do tego celu zasobów, aby dostosowywać się do aktualnych wymagań,
- samoświadomość (*self-awareness*): samodzielne rozpoznawanie otoczenia, w jakim pracuje czujnik; wyszukiwanie i generowanie wymaganych reguł umożliwiających współpracę z innymi komponentami sieci,
- wiedza o sobie (*self-knowledge*): automatyczne rozpoznawanie własnych zasobów (stanu, komponentów, pamięci, komunikacji, aktualizacji oprogramowania, możliwości współpracy) pozwalające na efektywne współdziałanie w ramach sieci pomiarowej,
- samokonserwacja (*self-maintain*): bieżące monitorowanie stanu własnych zasobów i podejmowanie koniecznych działań zaradczych w przypadku przewidywania lub wystąpienia usterki.

Prace nad opracowywaniem i rozwojem tego typu środowisk są prowadzone np. w niemieckim Instytucie Fraunhofera [7].

Wytwarzanie addytywne

Wytwarzanie addytywne (*additive manufacturing*), inaczej nazywane drukowaniem przyrostowym lub przestrzennym (3D), jest coraz szerzej stosowaną techniką tworzenia nie tylko prototypów, ale także gotowych wyrobów. Na wielu uczelniach na świecie prowadzone są zaawansowane badania nad tą techniką. Przykładem są próby na politechnice w Chemnitz (Niemcy), gdzie po raz pierwszy udało się wykonać w ten sposób stojan trójfazowy



Rys. 4. Fazy wykonania silnika w technice druku 3D (fot. J. Rudolph)

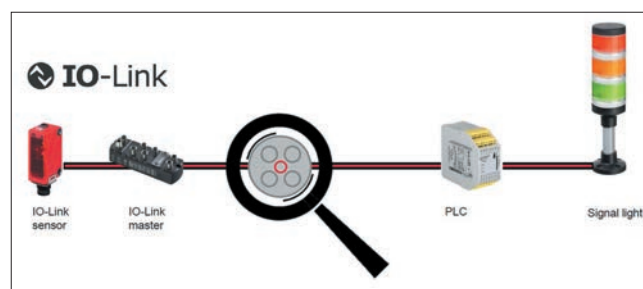
zowego silnika reluktancyjnego (rys. 4). Proces drukowania opracowany przez naukowców obejmował wytłaczanie lepkich past (składających się z cząstek żelaza, miedzi lub ceramiki, a także specjalnie dostosowanych środków wiążących) oraz ich późniejsze spieknięcie.

Dzięki zastosowaniu tej nowej technologii wytwarzania udało się pokonać dotychczasowe ograniczenia techniczne silnika elektrycznego – ze względu na wytrzymałość izolacji maksymalna temperatura jego pracy nie przekraczała 220°C. Obecnie jedynym ograniczeniem będzie zachowanie właściwości ferromagnetycznych żelaza, czyli możliwa staje się praca poniżej 700°C.

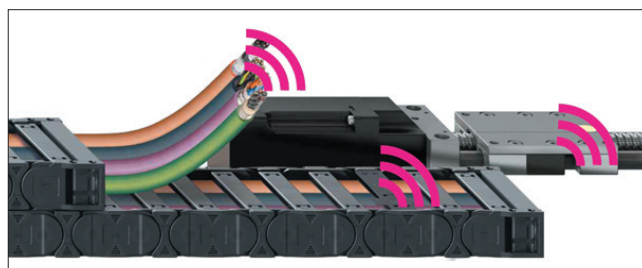
Ostrzeżenie przed awarią

Systemy przewidywania/ostrzegania przed zbliżającą się awarią są dzisiaj montowane nie tylko w dużych i zaawansowanych maszynach, robotach czy urządzeniach przemysłowych. Można je znaleźć nawet w przewodach elektrycznych (technologia SmartCore firmy Leuze) wykorzystywanych w aplikacjach ruchomych (np. w robotach, manipulatorach, transporterach). W wiązce przewodowej poza żyłami do zasilania i transmisji sygnałów umieszczony jest przewód kontrolny wykonany w taki sposób, że jego żywotność jest obliczona na 80% czasu pracy całego połączenia przewodowego (wiązki). Jest on dołączony do napięcia zasilającego i w przypadku przekroczenia określonej liczby cykli następuje jego samoczynne przerwanie – co generuje sygnał ostrzegawczy w jednostce nadzorującej (sterowniku PLC) i umożliwia wcześniejsze podjęcie działań naprawczych, by uniknąć nieplanowanego przestoju instalacji (rys. 5).

W podobnym kierunku podąża firma Igus, która proponuje system igus isense, wspierający działania związane z uprzedzaniem awarii i ułatwiający planowanie serwisu/konserwacji (rys. 6). Rodzina produktów obejmuje czujniki i moduły monitorujące. Podczas bieżącej pracy wykrywają one stopień zużycia takich elementów, jak elastyczne przewody przewodów, przewody sygnałowe i moduły liniowe. Możliwa jest także praca w sieci za pomocą modułu komunikacyjnego igus iCOM, który pozwala na bezpośrednią integrację z systemem informatycznym przedsiębiorstwa.



Rys. 5. Inteligentny przewód z technologią SmartCore (www.leuze.com)



Rys. 6. Podzespoły wspierane przez platformę igus isense (www.igus.com)

Systemy wsparcia działań serwisowych i monterskich

Dzięki możliwościom, jakie dają środowiska informatyczne i miniaturyzacja układów elektronicznych, wiele firm oferuje kompleksowe systemy wsparcia działań wykonywanych przez serwisantów/monterów. Przykładem jest sprzętowo-programowe środowisko firmy Evolaris (rys. 7).

Składa się ono z zestawu nagłownego (inteligentnych okularów) z bogatym wyposażeniem technicznym (kolorowym mikrowyświetlaczem 854 × 480 pkt, kamerą 16 MP, czterema mikrofonami kierunkowymi, odbiornikiem nawigacji satelitarnej GPS oraz Glonass, żyroskopem, kompasem, interfejsami komunikacyjnymi WiFi i Bluetooth, USB, systemem operacyjnym Android 6 procesor 2GHz, 16 GB pamięci Flash, o masie 380 g) i specjalizowanego oprogramowania. To ono stanowi rzeczywistą funkcjonalność całego urządzenia. Środowisko Evoassist dostarcza przydatnych instrukcji z relacyjnych baz danych, skraca czas napraw i szkoleń, a także umożliwia doświadczonemu pracownikom dokumentowanie na bieżąco swojej wiedzy i wykonanych działań bezpośrednio w miejscu pracy.

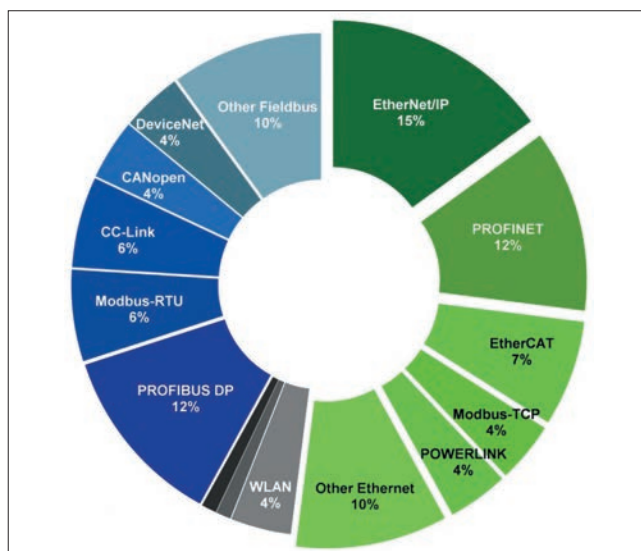


Rys. 7. Wsparcie działań serwisowych za pomocą inteligentnych okularów (www.evoassist.evolaris.net)

Sieci przemysłowe

Jednym z najlepiej rozwijających się działów automatyki przemysłowej jest komunikacja. Jej podstawą są sieci przemysłowe. Pod względem liczby zainstalowanych i aktywnych węzłów sieci (oznaczających sterownik, czujnik lub obrabiarkę) najpowszechniej wykorzystywanym standardem sieciowym jest Ethernet przemysłowy – w różnych jego odmianach (rys. 8). Sumarycznie określa się jego pozycję na 52% rynku przy rocznej dynamice wzrostu o 22% [8].

W Europie najczęściej instalowane są sieci Profinet oraz Ethernet/IP. Tendencja ta jest najprawdopodobniej związana z popularizacją technologii internetu rzeczy (IoT) w urządzeniach i maszynach produkcyjnych. Należy odnotować także bardzo znaczącą pozycję tradycyjnej sieci przemysłowej Profibus DP (12% instalacji). Radiowe sieci (WLAN, Bluetooth i inne), mimo tradycyjnie dość konserwatywnego stosunku do transmisji bezprzewodowych, są coraz częściej spotykane w środowiskach przemysłowych. Obecny poziom rozpowszechnienia (6%) wynika z bardzo dużej rocznej dynamiki wzrostu (o ok. 32%) i jest skutkiem wprowadzania innowacyjnych architektur oraz form wymiany danych w automatyce. Wpływ na to ma także coraz częstsze korzystanie w warsztatach i halach maszyn z tabletów i smartfonów jako paneli informacyjnych.

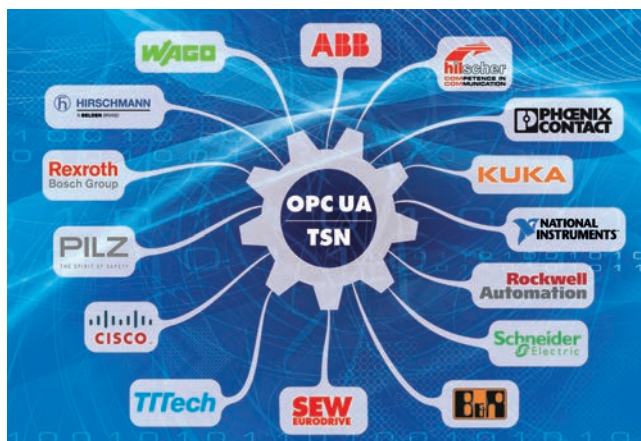


Rys. 8. Wykorzystanie sieci komunikacyjnych w automatyce przemysłowej (HMS)

Jest to zgodne z rozwijającą się koncepcją BYOD (*bring your own device*) – skutecznego użytkowania osobistych komunikatorów jako efektywnej alternatywy dla tradycyjnych paneli operatora.

Istotne z punktu widzenia szybkości, efektywności i stabilności komunikacji informatycznej w nowoczesnych środowiskach przemysłowych staje się zagadnienie stworzenia jednolitego mechanizmu wymiany danych w czasie rzeczywistym pomiędzy urządzeniami (*device-to-device*) oraz urządzeniami i chmurą (*device-to-cloud*). Interesującą koncepcją jest zastosowanie rozpowszechnionego protokołu OPC UA, który umożliwia łatwe i bezpieczne dzielenie się informacjami w różnych technologiach dostawców, oraz zestawu standardów sieciowych. Trwającą pracę nad implementacją OPC UA do standardu sieci TSN (Time-Sensitive Networking). To rozwiązanie będzie bardzo uniwersalne dzięki:

- niezawodnemu dostarczaniu danych,
- gwarantowanemu opóźnieniu,
- zwiększonej dostępności urządzeń i danych realizujących poprzez IIoT analizę dużych zbiorów danych i działania uczenia maszynowego,
- automatycznej konfiguracji i zarządzaniu systemem komunikacji,
- łatwej kompilacji systemu w celu dodania podukładów i funkcji do istniejących systemów, bez konieczności wykonywania skomplikowanych testów,



Rys. 9. Aktualny skład konsorcjum OPC UA TSN (www.rockwellautomation.com)

- dużej przepustowości i stabilności pracy,
- umiejętności łączenia aplikacji i ruchu w pojedynczej, otwartej sieci.

Prace badawcze są prowadzone przez konsorcjum (rys. 9), w którego skład wchodzi uznanie na świecie firmy produkujące zaawansowane układy i elementy automatyki przemysłowej bądź korzystające z nich.

Cyfrowa fabryka

Szacuje się, że obecnie do internetu podłączonych jest 8 mld urządzeń. Do 2030 r. będzie ich trylion. Konieczne jest tworzenie bezpiecznego środowiska informatycznego (chmury), w którym firmy będą sprawować całkowitą kontrolę na własnymi danymi i będą mogły swobodnie z nich korzystać w celu inteligentnego tworzenia innowacyjnych usług. Coraz poważniejszym zagadnieniem staje się właściwe wykorzystanie gromadzonych w systemach monitorowania produkcji informacji. Ich ogromna liczba, złożoność i wzajemne przenikanie się treści znacznie utrudniają ich przetwarzanie i analizowanie.

W przybliżeniu: dziennie powstaje 2,5 miliarda GB. Szacuje się, że ok. 90% wszystkich wygenerowanych kiedykolwiek na świecie danych zostało wytworzonych w ostatnich dwóch latach. Natomiast realnej analizie poddawanych jest zaledwie 1% informacji [9]. Można zaryzykować postawienie hipotezy, że jest to obecnie prawdziwe wyzwanie, nad którym trzeba usilnie pracować, ponieważ w „oceanie” danych znajdują się odpowiedzi na problemy, przed którymi staniemy w najbliższej przyszłości.

Firma Siemens dostrzega złożoność tego zagadnienia. Opracowane przez nią środowisko programowe obejmuje wszystkie etapy łańcucha produkcji, czyli: konstrukcję przedmiotu/obrabiarki, przygotowanie wytwarzania, obróbkę, montaż i uruchomienie oraz obsługę serwisową.

Koncepcja strukturalna wsparcia programowego jest przedstawiona na rys. 10. Zgodnie z nią wydzielono trzy zakresy kompetencyjne: „Na maszynie”, „Na produkcji”, „W chmurze”. W celu zapewnienia odpowiedniego zakresu wsparcia informatycznego proponowane są trzy współpracujące platformy: MindSphere, SINUMERIK Integrate i SINUMERIK/SINUMERIK Edge. Oferują one szereg funkcji – od poziomu maszyny po rozwiązania chmurowe. Pozwalają na tworzenie nowych modeli biznesowych, np. w dziedzinie usług serwisowych. Dzięki digitalizacji można uzyskać postęp w optymalizacji i wykorzystać ją tak, aby podnieść produktywność i konkurencyjność.

Firmy GM, Fanuc i Cisco promują swoje rozwiązanie ZDT (Zero Down Time). Oznacza ono dążenie do zera czasu przestoju obrabiarek i całego parku maszynowego. Jest to realizowane za pomocą technologii chmury obliczeniowej wykorzystywanej do analizowania danych zbieranych przez pracujące roboty w celu wykrywania potencjalnych zagrożeń związanych z przestojami. Według badań jedna minuta przestoju linii montażowej w prze-

myśle motoryzacyjnym to ok. 20 000 USD dodatkowych kosztów.

Program ZDT jest częścią systemu FIELD (Fanuc Intelligent Edge Link and Drive) – inteligentnego łączenia i sterowania urządzeniami brzegowymi (robotami, CNC, napędami, czujnikami). Koncepcja polega na przeniesieniu zaawansowanej analizy danych i uczenia maszynowego na poziom krawędzi sieci (*edge computing*). Wynika stąd znaczna redukcja opóźnień w transmisji i możliwość reakcji systemu na zdarzenia w czasie rzeczywistym.

W podobnym kierunku podąża znany producent robotów – firma Kuka – proponująca swoją platformę Kuka Connect. Jest to rozbudowane narzędzie programowe do bieżącej analizy danych pozyskiwanych bezpośrednio z robotów w czasie rzeczywistym. Celem jest wyliczenie specyficznych, kluczowych wskaźników efektywności wykorzystania danego urządzenia (KPI – *key performance indicators*), aby wspierać prace konserwacyjne związane z utrzymaniem ruchu. Przykładem może być dokładna obserwacja temperatury wybranej osi robota. Szybki wzrost wartości tego parametru może świadczyć o zbliżającej się awarii przekładni lub zbyt dużym obciążeniu przedmiotem.

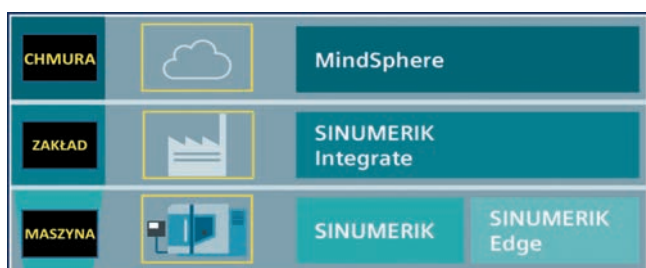
Również wielkie korporacje informatyczne, np. Hewlett Packard, oferują własne rozwiązania dla przemysłu, umożliwiające przetwarzanie dużych woluminów danych bezpośrednio w miejscach ich tworzenia (*edge computing*), bez konieczności angażowania technologii chmurowych i przesyłania. Proponowane są zintegrowane centra przetwarzania danych wyposażone w klastry procesorów o dużej mocy obliczeniowej i dedykowane oprogramowanie. Są one przygotowane do bezpośredniej instalacji w warsztacie. Stanowią całkowicie autonomiczne środowiska z zabezpieczeniami programowymi i sprzętowymi (np. rezerwowym zasilaniem).

Komunikacja głosowa

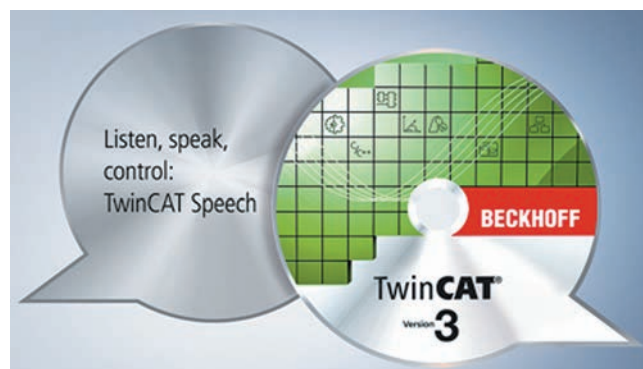
Przemysł 4.0 to w założeniu system doskonale zharmonizowanych elementów, w którym obrabiarki, maszyny technologiczne, roboty i ludzie wspólnie tworzą nowe środowisko produkcyjne. Ciekawym zagadnieniem jest umożliwienie kontaktowania się ludzi/operatorów z maszynami za pomocą głosu. Taka forma ma wiele zalet i wydaje się być naturalnym kierunkiem rozwoju układów automatycznego nadzoru.

Warto przypomnieć, że 20 lat temu system rozpoznawania mowy Nuance potrafił rozróżnić 20 słów, a obecnie systemy znają ich wiele milionów i to w różnych językach.

Firma Beckhoff zaproponowała wyspecjalizowany moduł TwinCat Speech, stanowiący komponent rozbudowanego środowiska programistycznego TwinCat 3.0



Rys. 10. Komponenty środowiska informatycznego cyfrowej fabryki (www.siemens.com)



Rys. 11. Moduł współpracy głosowej TwinCat Speech (www.beckhoff.com)

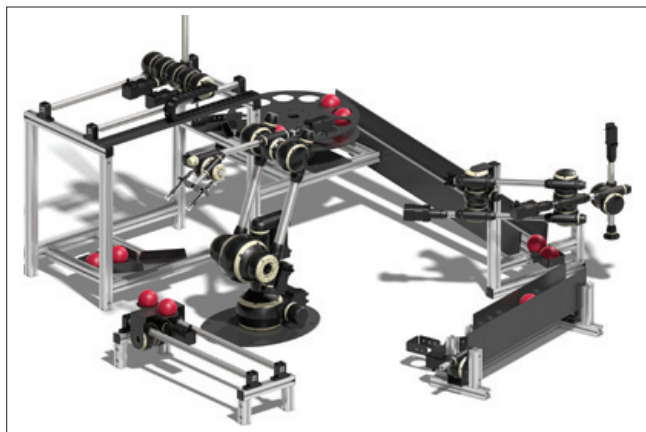
(rys. 11). Umożliwia on wielojęzyczne wprowadzanie/wyprowadzanie informacji zgodnie ze standardami przemysłowymi. Dzięki temu interakcja z systemem automatyki przebiega znacznie sprawniej i wygodniej. Korzystanie z funkcji rozpoznawania mowy jest dostępne offline (bez konieczności połączenia z internetem lub chmurą), na podstawie wbudowanych funkcji systemu operacyjnego Windows. Syntetyzowanie głosu (z wykorzystaniem funkcji samouczenia się) jest dostępne zarówno offline, jak i online (za pośrednictwem usługi Polly – konwersji tekstu na mowę firmy Amazon).

Podobne rozwiązanie wprowadza firma Lenze Drives. Nowa linia sterowników napędów (serwonapęd i950) pozwala na prowadzenie diagnostyki za pomocą komend głosowych. Wykorzystywany jest system rozpoznawania mowy Alexa firmy Amazon, stosowany np. w urządzeniach osobistych klasy smartfon. Komunikowanie się operatorów z urządzeniami automatyki przemysłowej będzie coraz bardziej przypominać swobodną konwersację i odciążą operatora z konieczności skupiania się na komunikatach wizualnych i obsłudze klawiatury komputerowej.

Roboty

Zwiększenie liczby robotów w procesie technologicznym jest jedną z głównych metod osiągnięcia wzrostu automatyzacji. Z myślą o redukcji kosztów masowej robotyzacji wytwarzania firma Igus proponuje innowacyjny modułowy system ruchu – robolink Apiro (rys. 12). Jego nazwa nawiązuje do greckiego słowa *απειρο* (nieskończony). System składa się z elementów o różnych układach kinematycznych: obrotowych, posuwowych i równoległych, które pozwalają na tworzenie robotów typu Scara, przegubowych i humanoidalnych. Możliwe jest dołączanie różnorodnych przekładni, a wszystkie elementy ruchome są wykonane w technice samosmarowania i są odporne na zabrudzenia. Niska waga (dzięki zastosowaniu profili aluminiowych), odporność na działanie środków chemicznych i długi czas eksploatacji pozwalają na swobodną pracę bez konieczności ponoszenia kosztów remontów i utrzymania.

Roboty współpracujące wyznaczają kierunek powszechnego wykorzystywania urządzeń kooperujących z człowiekiem (operatorem). Warunkiem skutecznego ich wprowadzania jest zastosowanie specjalnych czujników i metod sterowania związanych z teorią maszyn kognitywnych (*cognitive machines*). Celem jest umożliwienie robotom samodzielnego i aktywnego rozpoznawania otoczenia (współdzielenia przestrzeni roboczej) oraz analizo-



Rys. 12. Modułowy system ruchu – robolink Apiro (www.igus.com)



Rys. 13. Robot współpracujący P-Rob (www.fp-robotics.com)

wania swoich działań, by eliminować sytuacje wyjątkowe – co jest nieodzowne, aby zapewnić ich bezpieczne obcowanie z człowiekiem.

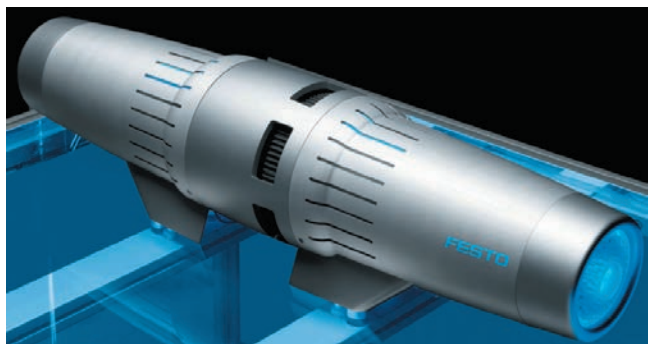
Określane są podstawowe kryteria mające wspomóc inżynierów w procesie podejmowania decyzji o zastosowaniu takich robotów w praktyce zakładowej, obejmujące:

- rentowność całego przedsięwzięcia,
- działania wspólne z robotem muszą stanowić część zaplanowanych prac,
- przed rozpoczęciem współpracy konieczne jest uruchomienie/aktywowanie dostępnych systemów bezpieczeństwa,
- robot musi być standardowo wyposażony w funkcje wspomagania człowieka, zgodnie z normą ISO 10218.

Przykładem może być lekki i ekonomiczny robot współpracujący P-Rob szwajcarskiej firmy F&P Robotics AG (rys. 13). Wszystkie modele P-Rob oferują powtarzalność pozycjonowania 0,1 mm i ładowność do 3 kg. Osłony ramion są wykonane miękkiej skorupy połączonej ze skórą syntetyczną. Chroni ona zarówno operatorów, jak i konstrukcję robota przed uszkodzeniami. Wymienne uchwyty P-Grip w połączeniu z oprogramowaniem myP umożliwiają łatwe integrowanie czujników i systemów wizyjnych. Dzięki nim P-Rob ma świadomość swojego środowiska pracy. Uczy się przedmiotów (kształtów, twardości, orientacji) za pomocą wielu czujników, uwzględnia zmiany przestrzeni i dostosowuje swoje zachowanie.

Napędy

Silniki elektryczne to podstawowy zespół każdej obrabiarki. Od ich sprawności, mocy i charakterystyki momentu zależą właściwości dynamiczne całego napędu. Jednym z kierunków poszukiwań nowych rozwiązań jest badanie możliwości zastosowania nadprzewodników w konstrukcjach silników napędowych. Utrzymanie materiału nadprzewodzącego w odpowiednio niskiej temperaturze



Rys. 14. Prototyp przemysłowego silnika nadprzewodnikowego (www.festo.com)

(zwykle ok. 70 K) skutkuje osiągnięciem zerowej rezystancji dla przepływu prądu, czyli brakiem niekorzystnych strat mocy i wzrostu temperatury silnika. Dzięki temu możliwe jest tworzenie bardzo silnego pola magnetycznego z użyciem bardzo wysokich wartości prądu. Jest to szczególnie istotne przy niewielkich prędkościach obrotowych (z wysokim momentem obrotowym), a także w przypadku konieczności zatrzymania silnika pod pełnym obciążeniem.

Zaprezentowany przez firmę Festo model silnika nadprzewodnikowego (SupraMotor) z chłodzeniem w formie stałej (rys. 14) stanowi obecnie model studialny. Według informacji podanych przez firmę przy mocy użytecznej silnika rzędu kilkudziesięciu kilowatów moc konieczna do utrzymania jego właściwej temperatury to mniej niż 5 W/uzwojenie. Prototyp pracuje z niskimi wartościami prądu ze względu na ograniczenia gęstości strumienia magnetycznego, jaki mogą przyjąć materiały ferromagnetyczne. Korzyści z zastosowania napędów nadprzewodnikowych są niewątpliwe i należy się spodziewać, że ta koncepcja wyznaczy kierunki badawcze na najbliższe lata.

Egzoszkieleł

Według Federalnego Instytutu Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy urazy układu mięśniowo-szkieletowego stanowią powód korzystania z 23% dni chorobowych w Niemczech i prowadzą do szacunkowej straty w produkcji brutto na wysokości 17 mld EUR rocznie. Głównymi przyczynami tych chorób są fizyczne obciążenia podczas podnoszenia i przenoszenia w pracy, powodujące uszkodzenia mięśni, więzadeł, kości i chrząstek. W niektórych przypadkach popularne pomoce statyczne, takie jak wózki widłowe lub żurawiki, nie mogą być zastosowane lub są zbyt mało elastyczne.

Wówczas pomocny może się okazać egzoszkieleł Bionic CRAY X (rys. 15). Jest on zaprojektowany w taki sposób, aby zmniejszyć siły nacisku/kompresji dolnej części pleców, a tym samym chronić użytkownika przed urazami tej części szkieletu. Zapewnia wsparcie postawy podczas pozycjonowania lub obsługi narzędzi, przedmiotów itp. W konstrukcji zastosowano nowe elementy mikromechaniczne i ultralekki, ergonomiczny system nośny. W przyszłości przewidywane jest doposażenie konstrukcji w system transmisji danych sensorycznych, które umożliwią wprowadzenie uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji do sterownika egzoszkieletu.

Podsumowanie

Jak się wydaje, kierunki rozwoju współczesnej automatyzacji są już zdefiniowane. Wszeghogarniająca in-



Rys. 15. Egzoszkieleł noszony Bionic CRAY X (www.germanbionic.com)

formatyzacja i efektywna komunikacja mają na celu doprowadzenie do stworzenia całkowicie cyfrowego modelu produkcji. Jednak istniejące środowiska wytwórcze nie pozwalają na szybkie i niskobudżetowe wprowadzenie tej idei w życie. Zróżnicowany poziom zautomatyzowania poszczególnych maszyn technologicznych i bardzo wysoki koszt nowoczesnych obrabiarek wymuszają poszukiwanie skutecznej metody implementacji idei cyfrowej fabryki w pozostającym do dyspozycji środowisku wytwórczym [10]. W tym właśnie obszarze trwa najbardziej intensywna praca.

Kolejna edycja Hannover Messe odbędzie się w dniach 1–5 kwietnia 2019 r., a krajem partnerskim wystawy będzie Szwecja.

LITERATURA

1. Szulewski P. „Efektywne łączenie systemów podstawą inteligentnej produkcji”. *Mechanik*. 1 (2018): s. 7–11.
2. www.marketsandmarkets.com/PressReleases/smart-factory.asp.
3. <https://altizon.com/smart-manufacturing-report-2017/>.
4. www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/tpi/downloads_8/tpi_214_de_en.pdf.
5. Domingos P. „A Few Useful Things to Know about Machine Learning”. Washington: University of Washington, 2012, <https://pdfs.semanticscholar.org/b4cc/7906b32205f6723b3deee6ddcce32926d2fd.pdf>.
6. Śniegulska-Grądzka D., Szulewski P. „Systemy automatycznego monitorowania drgań w obrabiarkach”. *Mechanik*. 3 (2017): s. 170–175. <https://www.iis.fraunhofer.de/en/magazin/kognitive-sensorik.html>.
7. <https://www.hms-networks.com/press/2018/02/27/industrial-ether-net-is-now-bigger-than-fieldbuses>.
8. Henke N., Libarikian A., Wiseman B. „Straight Talk about Big Data”, 2016, <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/straight-talk-about-big-data>.
10. Szulewski P. „Industry 4.0 – w kierunku inteligentnego wytwarzania”. *Mechanik*. 1 (2017): s. 60–65.