

# Quo vadis robotyka?

▶ Cezary Zieliński

Szybki rozwój robotyki podyktowany jest intensywnością badań prowadzonych w tej dziedzinie. To oraz potrzeby społeczne spowodowały duże zainteresowanie przemysłu tą dziedziną. W wielu krajach, nie tylko wysoko rozwiniętych, w jej rozwój inwestowane są bardzo znaczące fundusze ze źródeł państwowych oraz prywatnych. Wszystko to uprawnia do zadania tytułowego pytania. Odpowiedzi na to pytanie szukano zarówno w bogatej literaturze naukowej jak i w dokumentach zbiorczych opracowanych przez gremia naukowe (EURON: *European Robotics Network*, CCC/CRA: *Computing Community Consortium*, *Computing Research Association*) oraz przemysłowe (EUROP: *European Robotics Technology Platform*).

Istotne zwiększenie mocy obliczeniowej oraz zmniejszenie gabarytów komputerów stworzyło warunki do rozwoju wielu tzw. inteligentnych urządzeń, w tym robotów. Intensywne badania w dziedzinach pokrewnych doprowadziły do opracowania różnorodnych czujników oraz napędów, pomysłowych rozwiązań mechanicznych, a przede wszystkim efektywnych algorytmów sterowania. Obecnie obserwujemy wykładniczy przyrost publikacji z zakresu robotyki oraz pojawianie się coraz to nowych przedsięwzięć zajmujących się wytwarzaniem robotów i to nie tylko przemysłowych. W tej sytuacji zasadne staje się tytułowe pytanie, dokąd zmierza robotyka i czego można się po niej spodziewać w nieodległej przyszłości. Jest to szczególnie istotne dla firm, które swoją przyszłość upatrują w inwestowaniu w nowe technologie, a więc tworzących gospodarkę opartą na wiedzy. Aby dać odpowiedź na postawione pytanie, należy prześledzić materiały licznych konferencji poświęconych robotyce, przyjrzeć się wielkim projektom finansowanym przez Komisję Unii Europejskiej, ale przede wszystkim raportom (tzw. mapom drogowym – ang. *roadmap*) określającym kierunki rozwoju robotyki, opracowanym przez duże gremia uczonych i praktyków zajmujących się robotyką. W ciągu ostatnich dwóch lat powstało kilka takich dokumentów, więc warto się im przyjrzeć bliżej. Celem tego artykułu jest wskazanie, na podstawie dostępnych materiałów, spodziewanych kierunków rozwojowych w zakresie robotyki.

## Kategorie robotów i ich cechy

Przed przystąpieniem do realizacji nakreślonego celu należy spróbować określić wzajemne relacje między pojęciami często występującymi w różnych opracowaniach. Niestety, robotyka nie dorobiła się jednolitej terminologii, szczególnie w zakresie nazw kategorii robotów. Najbardziej przydatna jest klasyfikacja ze

względu na rodzaj środowiska, w którym robot może operować. Wyróżnia się trzy rodzaje środowisk, a więc i robotów z nimi związanych. Są to:

- roboty przemysłowe – operujące w środowisku w pełni strukturalnym, a więc specjalnie przystosowanym tak, aby urządzenie nie miało problemów z realizacją powierzonych mu zadań (np. gniazdo produkcyjne, gdzie wszystkie urządzenia współpracujące są dokładnie ustawione, więc wystarczy, że robot jest sterowany pozycyjnie, i w związku z tym nie potrzebuje zbyt wielu czujników zewnętrznych – eksteroreceptorów)
- roboty usługowe (osobiste i profesjonalne) – operujące w środowisku quasi-strukturalnym, stworzonym przez człowieka na własne potrzeby, a więc w otoczeniu niedostosowanym specjalnie do potrzeb robota (np. dom, hala dworcowa, biuro, restauracja); roboty osobiste wspomagają człowieka w jego domu, natomiast roboty profesjonalne świadczą usługi zazwyczaj na rzecz grupy anonimowych usługobiorców, a nie pojedynczego człowieka
- roboty terenowe – operujące w środowisku nie-strukturalnym, czyli naturalnym (np. pole, las, przestrzeń powietrzna lub podmorska).

Jak wspomniano, twórcy różnych opracowań na temat robotyki niestety rzadko trzymają się jednej standardowej nomenklatury i jednej klasyfikacji robotów. Często bywa łączenie robotów usługowych i terenowych w jedną grupę, wtedy także zwaną robotami usługowymi. W tym przypadku większość robotów terenowych klasyfikowana jest jako profesjonalne roboty usługowe. Do tej klasy są zaliczane roboty inspekcyjne, rolnicze, stosowane w lasach, roboty militarne itd. Osobiste roboty definiowane są jako roboty wspomagające ludzi w ich codziennych zajęciach, szczególnie w ich domach (wtedy nazywa się je także domowymi) oraz roboty kompensujące różne ułomności.

To, co odróżnia współczesne roboty od innych urządzeń, to duży stopień ich autonomii. Trzeba tu wyróżnić dwa typy autonomii: energetyczną i informacyjną. Obie formy są niezbędne do otrzymania pełnej autonomii działania tych urządzeń. Ta pierwsza jest zwią-

▶ prof. dr hab. inż. Cezary Zieliński  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów,  
Warszawa

zana z umieszczeniem źródła zasilania w energię na pokładzie robota. Ta druga dotyczy podejmowania decyzji, a więc określenia, czy o wykonywanych czynnościach decyduje układ sterowania robota czy operator, a więc człowiek. Obecnie robotyka dąży do wytworzenia robotów autonomicznych zarówno pod względem energetycznym, jak i informacyjnym, zdolnych do efektywnego działania zarówno w środowiskach niestrukturalnych, jak i quasi-strukturalnych. Trudność związana z autonomią energetyczną wynika z braku odpowiednio pojemnych energetycznie baterii o niewielkich gabarytach i – przede wszystkim – o małej masie. Rozwiązanie tego problemu leży poza robotyką. U podstaw autonomii informacyjnej leżą odpowiednie algorytmy sterowania i podejmowania decyzji. Prace nad tymi algorytmami leżą w głównym nurcie rozwoju robotyki oraz stowarzyszonej z nią kognitywistyki.

Trudność, a pośrednio i koszt stworzenia robota, zależy zarówno od kategorii, do której należy, jak i stopnia autonomii, którym ma się cechować. Obecnie wysiłek badawczy podzielony jest pomiędzy tworzenie technologii zwiększających autonomię tych urządzeń oraz projektowanie systemów do coraz to nowszych zastosowań. Technologie te czasami nazywane są wspierającymi (ang. *enabling technologies*). Mogą one powstawać zarówno na gruncie badań dotyczących robotyki, jak i w sferze z robotyką niezwiązaną.

## Analiza trendów rozwojowych robotyki

Zarówno wiele krajów, jak i wiele stowarzyszeń krajowych i międzynarodowych dostrzega perspektywy otwierające się przed zastosowaniami robotów przy obecnym rozwoju technologii. Stąd duże nakłady finansowe na robotykę, a co za tym idzie, tworzenie zarówno prognoz, jak i planów rozwoju tej dziedziny. W Polsce też podejmowane były próby określenia kierunków rozwoju robotyki, np. [7]. Analizę trendów rozwojowych można prowadzić albo poprzez analizę publikacji w wiodących czasopismach z danej dziedziny (przykładowo dla robotyki będą to: IEEE Transactions on Robotics, International Journal of Robotics Research, Advanced Robotics, Robotica, Industrial Robot, Robotics and Autonomous Systems, International Journal of Humanoid Robotics, Journal of Intelligent and Robotic Systems, IEEE Robotics and Automation Magazine, Autonomous Robots, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Journal of Field Robotics) bądź czytając materiały znaczących konferencji międzynarodowych (np.: ICRA [5], IROS [4, 10], RoManSy [8, 11], RoMoCo [6]) lub krajowych (np. KKR [9]). Ze względu na bogactwo i szczegółowość tych wszystkich materiałów taka analiza jest bardzo żmudna. Co więcej, nie należy się tu ograniczać tylko do materiałów bezpośrednio związanych z robotyką, ale również prześledzić rozwój wszelkich dziedzin pokrewnych, a w szczególności tych, które dostarczają technologie wykorzystywane przez roboty. Dlatego lepiej odwołać się do opracowań analitycznych stworzonych przez duże gremia naukowców i przemysłowców.

## Analiza EUROP pod kątem potrzeb rynkowych

Stowarzyszenie EUROP (*European Robotics Technology Platform* – organizacja wspierana przez Komisję Unii Europejskiej, zrzeszająca przede wszystkim partnerów przemysłowych) w 6. Programie Ramowym zainicjowało projekt CARE (*Coordination Action for Robotics in Europe*), którego zadaniem było określenie niezbędnych z punktu widzenia przemysłu kierunków badań oraz przewidywań przyszłych osiągnięć robotyki. Jednym z celów tego programu było sformułowanie strategii badawczej SRA (*Strategic Research Agenda*) dla europejskiego przemysłu robotycznego [3]. W dokumencie tym wyróżniono pięć kategorii robotów, które są przedmiotem szczególnego zainteresowania przemysłu:

- roboty przemysłowe
- profesjonalne roboty usługowe (działające w terenie oraz w środowisku biurowym)
- domowe roboty usługowe (roboty osobiste, działające w domu)
- roboty obronne (związane z szeroko pojętymi: obroną, bezpieczeństwem oraz prowadzeniem akcji ratunkowych)
- roboty kosmiczne (roboty działające na orbitach oraz powierzchniach planet).

Tak więc EUROP, antycypując na podstawie przewidywanych potrzeb rynku jak będzie wyglądał rozwój robotyki, wyróżniło następujące grupy robotów jako rokujące szczególne nadzieje na osiągnięcie sukcesu komercyjnego:

- współpracownicy robotników (czyli roboty wspomagające ludzi pracujących w fabrykach – pomoc dotyczy wszelkich prac fizycznych, przy czym w odróżnieniu od robotów przemysłowych roboty te będą bezpośrednio współdziałały z robotnikami, a nie, jak to było dotychczas w przemyśle, wykonywały swe zadania starannie odgradzone od ludzi)
- asystenci profesjonalnych usługodawców (roboty wspomagające ludzi w świadczeniu usług – działania tej grupy obejmują przykładowo wspomaganie chirurgów przy operacjach lub pomoc fizjoterapeutom, prace budowlane i remontowe, transport ludzi i towarów, inspekcje)
- pomocnicy domowi (roboty wspomagające ludzi w ich codziennych obowiązkach domowych, takich jak sprzątanie, pranie, gotowanie)
- kompani domowi (tu przede wszystkim chodzi o wsparcie osób niepełnosprawnych i w podeszłym wieku w ich codziennych obowiązkach domowych oraz pełnienie funkcji kompanów do zabawy i rozmowy)
- eksploratorzy (roboty pracujące w niebezpiecznych lub niedostępnych ludziom środowiskach, np. w przestrzeni kosmicznej czy w lasach bądź na polu walki)
- roboty dla potrzeb badania przestrzeni kosmicznej.

Wskazuje się, że zastosowanie robotów-współpracowników robotników spowoduje zwiększenie wy-

dajności pracy, a przez to obniżenie kosztów wytwórczych, co z kolei zatrzyma odpływ produkcji do krajów o niskich kosztach wytwarzania. Warto też odnotować, że roboty usługowe zostały podzielone na kilka grup: roboty wspomagające profesjonalnych usługodawców, roboty-pomocnicy domowi oraz roboty-kompani. Pokazuje to jak wielką wagę przemysł przywiązuje się do robotów tego typu. Jest to związane z kompletnością tych urządzeń z tzw. inteligentnym otoczeniem (ang. *ambient intelligence*), na rozwój którego przeznaczono duże fundusze w ramach 6. Programu Ramowego.



Robot-kompan będzie musiał wykonywać bardzo złożone czynności. Niemiecki Justin stworzony został do badań nad manipulacją dwuręczną w otoczeniu, w jakim funkcjonują ludzie. Różnorodne czujniki umożliwiają percepcję otoczenia.

Fot. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

EUROPA nie przewiduje jak szybko wymienione grupy robotów osiągną pożądaną sprawność, ale stowarzyszone przedsiębiorstwa i ośrodki badawcze są skłonne przeznaczać poważne kwoty na badania prowadzące do tego celu. Wymienia się na ogół rok 2020 jako ten, w którym będzie już istnieć dojrzały przemysł związany z wyżej wymienionymi robotami. Wyróżniono trzy kierunki działań: rozwój systemów robotycznych, opracowanie i ulepszanie komponentów oraz zminiaturyzowanych robotów, a ponadto prace nad złożonymi i inteligentnymi zachowaniami.

## Analiza CCC/CRA – mapa drogowa amerykańskiej robotyki

Duża grupa naukowców z najznamienitszych uczelni amerykańskich, sponsorowana przez *Computing Community Consortium* (CCC) oraz *Computing Research Association* (CRA), przygotowała dla Kongresu Stanów Zjednoczonych dokument określający perspektywy rozwoju robotyki do roku 2020 i poza ten horyzont [1]. Dokument ten, oprócz dogłębnej analizy ekonomicznej konieczności inwestowania w robotykę, wyróżnia następujące bardzo obiecujące kierunki badawcze:

- Uczenie i adaptacja do warunków panujących w środowiskach niestrukturalnych i quasi-strukturalnych
- Modelowanie, analiza, symulacja i sterowanie robotami
- Metody formalne

- Sterowanie i planowanie
- Czujniki
- Percepcja
- Nowatorskie mechanizmy i wydajne siłowniki
- Interakcja człowiek-robot
- Architektury układów sterowania oraz reprezentacja otoczenia.

Jak widać nacisk jest położony raczej na technologie niezbędne do uzyskania prawdziwie autonomicznie działającego robota niż na partykularne zastosowania robotów. Oczywiście powyższe technologie potrzebują odpowiedniego pola doświadczalnego, na którym będzie można zweryfikować ich efektywność, a to oznacza stosowanie ich w robotach, przed którymi stawia się coraz bardziej wymagające zadania. Środowisko robotyków dostrzega konieczność prowadzenia analiz porównawczych tworzonych technologii, stąd powstają grupy zajmujące się formułowaniem wymagających zadań wzorcowych (ang. *benchmarking*). Jednym z przejawów ich działalności są turnieje, takie jak Grand Challenge czy Urban Challenge zorganizowane przez DARPA w USA, a naśladowane w innych krajach, np. w Europie M-ELROB (*Military European Land Robot Trial*) czy w Singapurze TechX Challenge.

Dokument stworzony przez CCC/CRA wskazał kilka szczególnie obiecujących dziedzin zastosowań powyższej wymienionych technologii:

- Produkcja i logistyka
- Medycyna i służba zdrowia
- Usługi.

Historycznie pierwszym zastosowaniem robotów była produkcja przemysłowa. Obecnie działania ogniskują się nie, jak uprzednio, na produkcji masowej, ale na produkcji małoseryjnej i jednostkowej, a w związku z tym badania koncentrują się na dużej zmienności programu działań robota. Ponadto istotne jest zwiększenie szybkości działania oraz precyzji ruchu, a także zdolności do reakcji na sytuacje nieprzewidziane, konieczne zatem staje się istotne wzbogacenie wyposażenia robota przemysłowego w różnorodne czujniki, a co za tym idzie, rozwój algorytmów przetwarzania danych z nich otrzymanych.

Przy produkcji jednostkowej bardzo istotny jest sposób przeprogramowywania robota. W związku z tym prowadzone są badania nad programowaniem przez pokazywanie (demonstrację przez operatora wspomaganą komentarzem słownym, a czasem również odpowiednimi gestami) oraz dodanie umiejętności uczenia się (uogólniania zaobserwowanych prawidłowości). Uczenie się może być związane z doбором odpowiednich parametrów programu albo formułowaniem planu działań. Ponadto istotne jest odpowiednie modelowanie i reprezentacja środowiska, w którym operuje robot. Wskazuje się na wiele zastosowań robotów wyposażonych w powyższe cechy. Na przykład mobilne manipulatory mogą być wykorzystywane do fizycznego przekonfigurowywania linii produkcyjnych.

Ochrona środowiska wymaga zwiększenia stopnia odzyskiwania surowców wtórnych. Zastosowanie robotów do rozmontowywania zużytego sprzętu



(ang. *recycling*) sprawia, że konieczne staje się wyposażenie ich w bardzo różnorodne czujniki, narzędzia oraz zastosowanie zaawansowanych algorytmów przetwarzania danych. Potrzebny jest również rozwój chwytaków wielopalczastych ze zdolnością odczuwania zarówno sił normalnych jak i ścinających wywieranych przez palce. Pomiar rozkładu sił będzie istotny w precyzyjnej manipulacji.



Gibka konstrukcja manipulatora KUKA LWR – Light Weight Robot

Fot. Scholarpedia

Należy podkreślić trudności, które powstają przy chwytaniu obiektów elastycznych, miękkich lub mających wewnętrzne stopnie swobody. Mówi się też o nanorobotyce wykorzystującej tysiące jednostek w procesie samoorganizacji prowadzącej do samokonstrukcji produktu (robotyka inspirowana zachowaniem się rojów). Zakłada się, że roboty będą asystować ludziom przy produkcji (np. wspólne przenoszenie elementów), a to wymusza zmianę podejścia do bezpieczeństwa ludzi. Dotychczas ludzie byli odgradzani od pracujących robotów, teraz roboty muszą zachowywać się bezpiecznie znajdując się w pobliżu ludzi, a więc ich konstrukcja i algorytmy sterowania muszą zapewnić odpowiedni stopień bezpieczeństwa (zmniejszone momenty bezwładności konstrukcji i wbudowana podatność mechanizmów). Bezpieczeństwo wymaga również, aby robot wykonywał operacje tylko zlecone przez osobę do tego upoważnioną. Stąd konieczność zastosowania biometrycznej identyfikacji użytkownika. Wymienione wyżej zdolności oczywiście są niezbędne również innym niż przemysłowe kategoriom robotów.

Transport towarów jest znaczącym sektorem gospodarki światowej. Automatykacja tego procesu jest szczególnie istotna. Dotyczy ona zarówno planowania ruchu pojazdów, jak i uczynienia tych pojazdów bezzałogowymi, a także automatyzacji procesów przeładunkowych. Wyniki tych badań najlepiej są obrazowane poprzez konkursy organizowane przez DARPA – Grand Challenge oraz Urban Challenge. W tym pierwszym, w drugiej edycji zorganizowanej w 2005 r., główną nagrodę w wysokości 2 mln USD wygrał „Stanley” – zrobotyzowany Volkswagen Touareg skonstruowany przez zespół reprezentujący Uniwersytet Stanforda, pokonując trudną pustynną trasę o długości 212,4 km w czasie poniżej 7 godzin. Urban Challenge polegał na jeździe w mieście, w którym pojawiały się na drodze inne pojazdy. Niemniej jednak nawigacja w środowisku trójwymiarowym nadal jest

poważnym wyzwaniem badawczym. Szczególnie percepcja oraz interpretacja sytuacji jest trudna. Samolokalizacja pojazdu oraz budowa mapy za pomocą algorytmów SLAM (zazwyczaj korzystających ze skanerów laserowych), a obecnie VSLAM (*Visual Simultaneous Localization and Mapping* – SLAM z wykorzystaniem kamer i odometrii), są intensywnie badane. Uzyskanie mapy zajętości przestrzeni zostało opanowane, natomiast analiza semantyczna uzyskanych danych wymaga dalszych prac badawczych. Chodzi o to, aby robot nie tylko wiedział, jakie współrzędne osiągnął i że znajduje się blisko przeszkody, ale również był w stanie określić, obok jakiego obiektu przystanął oraz jakie są funkcje pomieszczenia, w którym się znajduje (np. kuchnia, łazienka, biblioteka, laboratorium, klatka schodowa). Dąży się do tego, aby roboty były w stanie skutecznie nawigować w pomieszczeniach, w których porusza się wielu ludzi – nawigacja w tłumie. Należy tu nadmienić, że rozwiązania niektórych problemów związanych z transportem upatruje się nie tylko w opracowaniu autonomicznych pojazdów, ale również w stworzeniu odpowiednio zautomatyzowanej infrastruktury drogowej. Wyniki prac nakierowanych na autonomię mogą być wykorzystane częściowo – czasami wystarczy wspomaganie kierowcy, a nie jego zastąpienie.

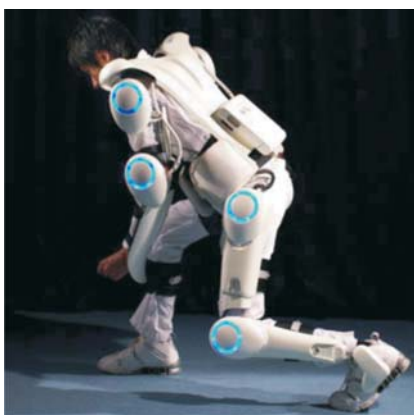


Stanley, bezzałogowy pojazd na bazie samochodu VW Touareg stworzony przez studentów Uniwersytetu Stanforda, samodzielnie pokonał 132-milową trasę terenową na Pustyni Mojave, zdobywając główną nagrodę w konkursie DARPA – 2 mln dolarów

Fot. John Gale Photography

Robotami medycznymi zwykle się nazywać telemanipulatory umożliwiające przeprowadzanie operacji chirurgicznych. Roboty takie nie męczą się, nie drżą im ręce, są one zdolne wykonywać bardzo precyzyjne ruchy, a co więcej są niewrażliwe na promieniowanie rentgenowskie używane do obrazowania w trakcie wykonywania zabiegu. Po przełamaniu pewnych trudności technicznych należy się spodziewać, że zakres ich zastosowań w chirurgii będzie wzrastał. Telemanipulatory tego typu muszą posiadać sprzężenie haptyczne (operator musi mieć możliwość wyczuwania siły, z jaką robot oddziałuje na otoczenie). Roboty medyczne mogą być również wykorzystywane jako asystenci chirurgów podający narzędzia lub oświetlający pole operacyjne według wskazówek udzielanych głosem przez chirurga. Służba zdrowia może również stosować roboty jako maszyny rehabilitacyjne. Roboty

mogą również być wykorzystywane do prowadzenia rutynowej diagnostyki pacjentów. Należy podkreślić, że interakcja robotów z pacjentami, ludźmi starszymi czy dziećmi wymaga o wiele bardziej zaawansowanych metod niż komunikacja z robotami pracującymi w hali fabrycznej. Potrzebne tu jest również rozpoznanie stanów emocjonalnych człowieka. Co więcej niezbędne jest dostosowanie zachowań robota do upodobań i możliwości konkretnego człowieka. Oznacza to, że algorytmy adaptacji oraz uczenia maszynowego będą nieodzownym elementem układu sterowania takim robotem. Wszystkie powyższe zastosowania wymagają rozbudowanych układów percepcyjnych oraz wnioskujących, no i oczywiście muszą dawać gwarancję niezawodnego działania. W kategorii robotów medycznych umieszczane są również inteligentne protezy oraz egzoszkielety.



Egzoszkielec firmy Cyberdyne wyczuwa intencje ruchowe człowieka i dzięki temu wspomaga go w wykonywaniu ruchów

Fot. Cyberdyne

Roboty usługowe obecnie służą przede wszystkim do czyszczenia poziomych powierzchni płaskich (np. do odkurzania lub mycia), ale badania idą w kierunku zastosowań w rolnictwie (np. kombajny bez kierowcy). Roboty mogą służyć też do patrolowania dużych obszarów lub nadzorowania dzieci albo niepełnosprawnych. Szeroko rozumiane roboty usługowe mogą operować w środowiskach niestrukturalnych, a więc obejmują kategorię robotów terenowych. Przykładem mogą być roboty latające (np. helikoptery) wyposażone w manipulatory zdolne do dokonywania drobnych napraw na wysokich konstrukcjach (np. instalacjach przemysłowych, wieżach, budynkach). Mogą też działać pod wodą, przykładowo monitorując stan bądź naprawiając rurociągi podwodne lub morskie platformy wiertnicze. Klasyczne roboty usługowe muszą być zdolne do interakcji z ludźmi, a więc także do komunikacji z nimi. Musi się to odbywać w naturalny sposób, a więc za pomocą głosu i gestu – stąd intensywnie prowadzone badania nad komunikacją multimodalną. Kolejnym wyzwaniem jest sama manipulacja. Zwraca się uwagę, że nie chodzi tu jedynie o konstrukcję coraz bardziej zręcznych chwytaków, ale przede wszystkim o radzenie sobie z różnorodnością obiektów i środowisk, w których one się znajdują. Oznacza to jedno-

czesne położenie nacisku na percepcję i interpretację danych uzyskanych z czujników (semantyczne etykietowanie oraz modele środowiska efektywne w przetwarzaniu danych).



W sytuacjach wymagających współdziałania człowieka i robota ważne staje się rozpoznawanie przez robota intencji człowieka

Fot. Uniwersytet Karlsruhe

Jako istotne wskazuje się automatyczne określenie przez robota, jakie czynności może on wykonać w danym stanie środowiska (ang. *affordance* – cecha środowiska lub obiektu umożliwiająca wykonanie określonych czynności). Oznacza to konieczność zinterpretowania danych uzyskanych z czujników w celu wskazania możliwych do wykonania czynności, a na tej podstawie wybranie tej, która najlepiej będzie służyć realizacji zadania. Percepcja nie powinna być traktowana biernie. Robot może czynnie pozyskiwać informacje. Takie postępowanie nazywane jest aktywnym czuciem. Robot wykonuje ruch, aby uzyskać określone dane, bądź zredukować niepewność lub wyeliminować zakłócenia. Takie podejście do realizacji zadań w istotny sposób komplikuje planowanie czynności. Generacja planów musi wtedy brać pod uwagę pozyskiwanie informacji w trakcie wykonania zadania, a więc plany muszą być warunkowe lub trzeba wbudować zdolność do szybkiego powtórnego planowania w razie niepowodzenia poprzedniego planu. Wzrost liczby możliwości prowadzi do eksplozji kombinatorycznej, z którą trzeba sobie radzić tworząc algorytmy wykorzystujące heurystykę. Pomimo intensywności badań nad wspomnianymi zagadnieniami jeszcze bardzo wiele zostało do zrobienia. Rozwiązania problemów upatruje się w formalizacji podejścia oraz w określeniu adekwatnych modeli środowiska i reprezentacji zadania i przestrzeni rozwiązań. Część środowiska robotyków spodziewa się znaleźć rozwiązanie przez opracowanie architektur systemów zdolnych do uczenia się, a w szczególności umiejących imitować zaobserwowane czynności człowieka. Inni uważają, że należy rozwijać architektury w oparciu o bezpośrednie oprogramowywanie zdolności systemów do poznania (ang. *cognition*). Zapewne będą konieczne rozwiązania hybrydowe.

Bliska interakcja robotów usługowych z ludźmi wymaga zapewnienia wysokiego stopnia bezpieczeństwa. Należy mieć gwarancje, że nie dojdzie do zranie-

nia człowieka. Oznacza to konieczność wprowadzenia podatności do konstrukcji robotów, ale tutaj nie należy spodziewać się nadmiernych sukcesów (samochody również nie są miękkie – z tragicznymi konsekwencjami tego faktu). Dlatego trzeba będzie głównie polegać na zabezpieczeniach programowych wykorzystujących informacje z czujników.

## Strategia EURON – aspekty technologiczne, badawcze i ekonomiczne

W ramach 5. i 6. Programu Ramowego funkcjonowała sieć doskonałości EURON zrzeszająca sto kilkadziesiąt ośrodków badawczych z Unii Europejskiej i krajów stowarzyszonych. Na marginesie, od roku sieć ta działa bez finansowego wsparcia Unii Europejskiej. Jednym z głównych zadań tej sieci było wytworzenie dokumentu wskazującego przyszły rozwój robotyki (ang. *roadmap*). W odróżnieniu od strategii badawczej opracowanej przez EUROP, która przede wszystkim wynikała z analizy potrzeb rynkowych, a w szczególności próby przewidzenia, jakie produkty będą potrzebne w przyszłości i jakie zastosowania tych produktów są możliwe, EURON przy określaniu swej strategii brał pod uwagę aktualnie prowadzone badania oraz istniejące problemy technologiczne i badawcze, które muszą być rozwiązane, aby urzeczywistnić wizję inteligentnych robotów współdziałających z ludźmi. W wyniku tych prac powstało dość obszerne opracowanie [2].

Dokument ten kładzie nacisk na ekonomiczną konieczność tworzenia nowych typów robotów. Szczególnie podkreślany jest ujemny przyrost naturalny w krajach rozwiniętych oraz stale pogarszająca się proporcja ludzi pracujących do nieaktywnych zawodowo. Odwrócenie tego trendu nie wydaje się możliwe, a na pewno nie w najbliższych latach (nowe roczniki wchodzące w wiek produkcyjny są coraz mniej liczne, a rodzące się teraz dzieci wejdą w wiek produkcyjny dopiero za 20-25 lat). Środkiem zaradczym może być zastąpienie brakujących rąk do pracy przez roboty. Należy tu podkreślić, że szczególnie będzie brakowało pracowników nisko wykwalifikowanych wykonujących monotonne zajęcia. Ich pracę będzie względnie łatwo zastąpić pracą robotów. Ponieważ coraz mniej ludzi pracuje przy produkcji, a coraz więcej w usługach, wysiłek musi być skoncentrowany na tworzeniu robotów usługowych. Ponadto ludzie żyjący dłużej często w podeszłym wieku niedołączają, a więc wymagają dodatkowej opieki. W związku z tym wszelkie urządzenia wspomagające ludzi starszych w ich codziennej aktywności będą ze wszech miar pożądane. Dla zachowania obecnego standardu życia wymagane będzie znaczne zwiększenie efektywności pracowników, a to jest możliwe jedynie poprzez uzbrojenie ich stanowisk pracy w znacznie udoskonalone narzędzia, a więc również roboty. EURON wskazał następujące obszary robotyki jako te, na których warto skoncentrować badania:

- Zaawansowane systemy produkcyjne
- Roboty-służące oraz inteligentne domy

- Sieci robotów
- Roboty terenowe
- Roboty dla służby zdrowia oraz polepszające jakość życia,
- Architektury robotów.

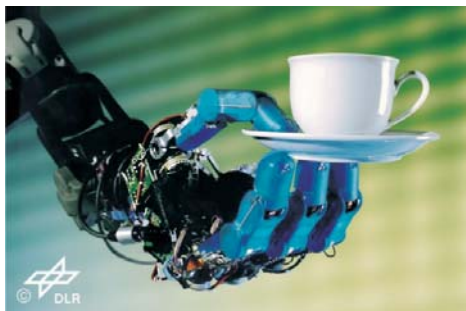
Roboty stosowane w zaawansowanych systemach produkcyjnych będą musiały cechować się przede wszystkim zwinnością oraz elastycznością swoich działań, w związku ze stale skracającymi się czasami cykli od projektu do produktu oraz czasami wytwarzania tych produktów. Tak więc istotną będzie ich modułowa konstrukcja oraz nowe metody ułatwiające ich programowanie przez personel o niezbyt wysokich kwalifikacjach. Współpraca z ludzką siłą roboczą narzuca tu ostre wymagania dotyczące bezpieczeństwa użytkowania tych urządzeń. Ze względu na ochronę środowiska tego typu urządzenia będą stosowane nie tylko do wytwarzania, ale również do rozmontowywania zużytych lub zniszczonych produktów w celu powtórnego użycia materiałów. Istotne jest również zmniejszenie stosunku masy robota do jego udźwigu. W ciągu ostatnich 25 lat stosunek ten zmniejszył się z 20:1 do 2:1, ale nadal oczekiwany jest istotny postęp w tym względzie. Ponadto konieczne jest rozszerzenie gamy obiektów, którymi roboty mogą manipulować, na przedmioty o nieregularnych kształtach, deformowalne, śliskie, kleiste itp.

Zmniejszająca się pula siły roboczej w krajach wysoko rozwiniętych, zwiększające się wymagania co do jakości wytwarzania oraz konieczność zachowań proekologicznych przemawiają za potrzebą prowadzenia prac nad stworzeniem robotów o wzmiankowanych cechach. Od wielu lat utrzymuje się trend wskazujący na stałe zwiększanie się możliwości robotów przemysłowych przy silnym spadku ich ceny. Należy oczekiwać utrzymania tego trendu w najbliższych latach, co powinno skutkować zwiększonym zapotrzebowaniem na tę kategorię robotów. Stąd zainteresowanie wytwórców robotów przemysłowych (a europejski przemysł dominuje w produkcji tych urządzeń na świecie) prowadzeniem badań zwiększających możliwości tego typu robotów. Wskazuje się na kilka istotnych kierunków badawczych:

- realizacja komunikacji robota z człowiekiem za pomocą głosu, gestów, przedstawiania rysunków lub interfejsów haptycznych (poprzez wyczuwanie sił)
- analiza i interpretacja sceny, a w szczególności analiza danych z kamer 3D i skanerów laserowych
- planowanie ruchu i koordynacja, a w szczególności koordynacja ruchów robota i człowieka
- bezpieczeństwo i diagnostyka, a w szczególności wykrywanie błędów i awarii oraz radzenie sobie w sytuacjach nadzwyczajnych
- mechatroniczne podejście do projektowania i miniaturyzacja, a w szczególności zmniejszenie masy robotów i polepszenie zdolności do chwytania i manipulowania różnorodnymi obiektami
- ulepszanie czujników
- nowe architektury systemów sterujących.



Przewiduje się, że w perspektywie następnych 25 lat nasze domy będą wyposażone w wiele czujników i inteligentnych urządzeń wykonawczych oraz roboty-służących. Oczywiście i w tym przypadku mo-



Zręczne chwytanie realizowane przez DLR hand

Fot. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

tywacją do zrealizowania takiej wizji jest starzenie się społeczeństwa i zmniejszanie się liczby ludzi aktywnych zawodowo. Niemniej jednak i ludzie sprawni chętnie zrezygnują z uciążliwości życia codziennego, jeżeli tylko roboty będą w stanie wykonać ich w sprzątaniu domu, robieniu drobnych napraw, gotowaniu, opiece nad dziećmi bądź ludźmi zniedołężniałymi. Część środowiska badawczego, szczególnie w Japonii, uważa, że tego typu roboty powinny cechować się dużą dozą antropomorfizmu, stąd intensywne badania nad robotami humanoidalnymi. Posiadanie nóg umożliwi poruszanie się po schodach i innych nierównościach, ale większość domów ma płaskie podłogi, stąd stosowane są również bazy mobilne na kołach. Ludzie są bardziej skłonni akceptować w swoim otoczeniu roboty przypominające człowieka, ale jednak nie imitujące dokładnie jego powierzchowności. W przypadku robotów domowych szczególną uwagę przykładają się do ich zdolności do interakcji z ludźmi, a w tym także do rozpoznawania i wyrażania emocji. Użytkownikami tego typu robotów będą w większości ludzie bez kwalifikacji technicznych, a więc porozumiewanie się człowieka z maszyną musi się odbywać na tych samych zasadach, na których porozumiewają się ludzie między sobą. W tego typu robotach ponownie objawia się konieczność zdobywania doświadczeń przez uczenie się od właściciela, a zachowanie się tych urządzeń musi być na tyle inteligentne i naturalne, aby nie irytowało użytkownika.



Asimo zbudowany przez Hondę jest uważany za najbardziej zaawansowanego robota chodzącego. W 2003 r. towarzyszył premierowi Japonii podczas wizyty w Czechach. Złożył wtedy kwiaty na grobie pisarza Karela Čapka, który pierwszy użył słowa robot.

Fot. Honda

Asimo zbudowany przez Hondę jest uważany za najbardziej zaawansowanego robota chodzącego. W 2003 r. towarzyszył premierowi Japonii podczas wizyty w Czechach. Złożył wtedy kwiaty na grobie pisarza Karela Čapka, który pierwszy użył słowa robot.

Roboty w przyszłości będą zaludniały świat o wiele bardziej nasycony urządzeniami technicznymi niż obecnie. Już teraz prowadzi się prace nad inteligentnym otoczeniem (ang. *ambient intelligence*) oraz wykorzystuje wszechobecne moce obliczeniowe (ang. *ubiquitous computing*), więc należy się spodziewać, że roboty będą wykorzystywały technologie sieciowe w niewspółmiernie większym stopniu, niż się to dzieje obecnie. Stąd koncepcja robotów sieciowych. Sieć (np. Internet) nie tylko będzie wykorzystywana jako repozytorium ogromnych ilości wiedzy, ale również jako medium komunikacji oraz środek postrzegania



Uniwersytet w Osace prowadzi prace nad robotami o wyglądzie i zachowaniach zbliżonych do ludzkich. Badane są również reakcje ludzi na obcowanie z maszyną do złudzenia podobną do znanych osób - w tym przypadku do konstruktora robota.

Fot. Intelligent Robotics Laboratory

otoczenia dzięki wykorzystaniu dołączonych sieci sensorycznych. W tym przypadku granica między robotami posiadającymi własne ciało, czyli robotami upostaciowionymi, a robotami wirtualnymi działającymi w sieci staje się mniej wyraźna. Będą powstawały zespoły robotów upostaciowionych, wirtualnych oraz ludzi wykonujące bardzo złożone zadania. W tym przypadku opracowanie odpowiednich protokołów komunikacyjnych, uwzględniających kontekst semantyczny, jest dużym wyzwaniem badawczym. Istotne jest uzmysłowienie sobie potencjału tkwiącego we wspólnym działaniu. Żaden członek takiego zespołu nie musi posiadać wszystkich niezbędnych do sprawnego działania komponentów (czujników, narzędzi, wiedzy etc.). W związku z tym badania koncentrują się na współdziałaniu w heterogenicznych systemach rozproszonych, a nie na tworzeniu robotów uniwersalnych. W szczególności badania dotyczą wspólnej lokalizacji i nawigacji, tworzenia map, postrzegania środowiska, transportu przedmiotów ciężkich i nieporęcznych, podejmowania decyzji, alokacji zasobów i zadań do wykonania oraz łączności.

Szczególnie istotna jest kwestia wspólnego postrzegania środowiska. Oznacza to, że wszyscy członkowie grupy muszą korzystać ze wspólnej reprezentacji tego środowiska, aby móc wymieniać się w sposób zrozu-

miały dla siebie spostrzeżeniami, oraz sprawnie dokonywać syntezy danych, w szczególności sensorycznych, pochodzących z czujników odmiennych typów. Wspólny transport wymaga implementacji odpowiednich algorytmów sterowania pozycyjno-siłowego, tak aby roboty i ludzie wspomagali się, a nie przeszkadzali sobie wzajemnie. Natomiast w zakresie łączności interesujące są sieci ad hoc, gdzie połączenia pomiędzy członkami grupy powstają i znikają w zależności od ich wzajemnego położenia i warunków propagacji sygnałów radiowych.

Współdziałanie z sieciami sensorycznymi z kolei wymaga rozwiązania problemu zasilania czujników w energię, a w szczególności oszczędzania energii, i utrzymania łączności z tymi czujnikami. Ponieważ roboty mogą stanowić ruchome węzły takiej sieci, więc interesująca staje się łączność wieloskokowa (ang. *multi-hop*) w sieciach o zmiennej konfiguracji. W szczególności może dochodzić do czasowej dezintegracji pojedynczej sieci na kilka rozdzielnych jej fragmentów. Bardzo istotne jest zabezpieczenie sieci przed niepowołanym użyciem jej elementów, a konkretnie robotów, które są zdolne do fizycznego oddziaływania na otoczenie.

Widoczna wielość technologii zaangażowanych w utworzenie takiej sieci wskazuje, że muszą być stworzone formalne metody opisu tego typu systemów, biorące pod uwagę heterogeniczność elementów składowych, różnice w posiadanych mocach obliczeniowych tych elementów, aspekty czasu rzeczywistego, ontologiczne różnice w postrzeganiu otoczenia oraz wielowarstwowość reprezentacji tego otoczenia. Biorąc pod uwagę, że mamy tu do czynienia z sieciami składającymi się z receptorów i efektorów (ang. *sensor actuator network* – SAN) badania będą się koncentrowały na syntezie metod właściwych dla telekomunikacji i automatyki, a konkretnie teorii sterowania i podejmowania decyzji. Takie sieci nie powinny jedynie biernie oczekiwać na rozkazy człowieka, ale powinny zachowywać się proaktywnie, antycypując potrzeby ludzi. Sieci robotów będą wykorzystywane do nadzoru, zabezpieczania i poszukiwań na rozległych terenach oraz miejscach nieprzyjaznych człowiekowi. Mogą to być magazyny, lotniska, instalacje rurociągowy, tamy, mosty, dworce, stadiony lub obszary objęte katastrofami.

Badania dotyczące robotów terenowych koncentrują się na samochodach poruszających się bez kierowcy, robotach latających i podmorskich stosowanych do inspekcji oraz autonomicznych maszynach rolniczych i do robót leśnych. Oczywistym powodem prac nad autonomicznymi samochodami jest chęć istotnego zredukowania liczby śmiertelnych wypadków na drogach. W większości przypadków do tego typu zdarzeń dochodzi wskutek błędów ludzkich, a więc wyeliminowanie czynnika ludzkiego powinno mocno zwiększyć bezpieczeństwo na drogach.

Sukces we wdrażaniu robotów terenowych w dużym stopniu zależy od stworzenia czujników odpornych na wszelkie warunki środowiskowe oraz energetycznie wydajnych sposobów przemieszczania się po nierównym terenie. Chodzi tu przede wszystkim o maszyny

kroczące. Należy podkreślić, że analiza i interpretacja sceny w środowiskach naturalnych, w których panują bardzo różne warunki pogodowe, jest problemem o wiele większym niż w przypadku wnętrz budynków. Istotnym czynnikiem są ciemności, wiatr, deszcz, mróz, mgła, upał, kurz etc. Modelowanie środowiska i wnioskowanie na podstawie tych modeli jest tu szczególnie trudne. Czynnikiem czasu rzeczywistego uwidacznia się ze szczególną ostrością ze względu na wymagane duże prędkości ruchu oraz zmienność otoczenia i warunków w nim panujących.



BigDog, czyli Wielki Pies, to robot zbudowany z myślą o poruszaniu się w trudnym terenie. Potrafi chodzić, biegać, wspinać się po zboczach o nachyleniu do 35 stopni i przenosić ciężkie ładunki. Ma około metra długości i waży ponad 100 kg.

Fot. Boston Dynamics

Starzenie się społeczeństw krajów wysoko rozwiniętych uwidacznia potrzebę rozwijania infrastruktury dla opieki zdrowotnej. Wskazuje się, że robotyka może tu odegrać istotną rolę. Przede wszystkim chodzi o różnego rodzaju urządzenia rehabilitacyjne, wspomagające ruch (egzoszkielety), protezy oraz monitorowanie pacjentów. Ponadto robotyka może dostarczyć technologii do stworzenia realistycznych symulatorów, na których mogliby trenować chirurdzy i na których można by planować operacje. Do tego jednak trzeba wiernie odtworzyć wzajemne oddziaływanie narzędzia chirurgicznego i tkanki zarówno twardej, jak i miękkiej. W szczególnych przypadkach, wykorzystując fakt, że ręka robota nie drży, można wykorzystać telemanipulator do przeprowadzenia operacji na rzeczywistym pacjencie. Niestety dotychczasowe zastosowanie robotów do celów chirurgicznych nie przyniosło sukcesów. Większość producentów tego typu urządzeń musiała się wycofać z ich wytwarzania wobec braku akceptacji przez Food and Drug Administration wywołanym domniemaniem błędów operacyjnych. Dopiero zwiększenie niezawodności tych urządzeń może spowodować zmianę tego nastawienia. Obecnie badania koncentrują się na czujnikach monitorujących stan pacjenta i interfejsach bionicznych umożliwiających odzyskanie czucia przez człowieka. Najistotniejsza jest tu biokompatybilność. Ponadto, zasilanie w energię jest w tym przypadku znaczącym wyzwaniem technologicznym.

Powyższy przegląd wskazuje, że różne kategorie robotów wymagają rozwoju tych samych technologii. We wszystkich przypadkach konieczne są odpowiednie interfejsy człowieka z maszyną, czujniki, lekkie



efektory, efektywne i odporne na niepewność metody fuzji danych, algorytmy interpretacji tych danych, a w szczególności przejście od poziomu sygnałów do poziomu symbolicznego (rozwiązanie tzw. problemu kotwiczenia (ang. *anchoring*), polegającego na przypisaniu znaczenia uzyskanym danym cyfrowym, czy zapewnienie bezpieczeństwa interakcji człowieka z maszyną i odpowiedniej niezawodności urządzeń. Niemniej jednak u podstaw rozwoju całej dziedziny są odpowiednie architektury systemów oraz sposoby ich implementacji. Należy pamiętać, że obecne systemy sterujące głównie bazują na oprogramowaniu, więc nie jest dla nich obojętny sposób jego tworzenia. Istotnymi kwestiami są tu reagowanie w czasie rzeczywistym, odporność na błędy, niezawodność, zdolność do radzenia sobie z sytuacjami nieprzewidywanymi, zdolność do samodoskonalenia, a także modularność umożliwiająca wielokrotne użycie redukujące koszt tworzenia nowego oprogramowania. Ten ostatni postulat zapewne znajdzie rozwiązanie na gruncie programowych struktur ramowych. Podkreśla się tu szczególnie użyteczność technologii agentowych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że dokument stworzony przez EURON, a więc przez robotyków, w tak silny sposób uwypuklił aspekt informatyczny, który leży u podstaw implementacji wszelkich systemów sterowania robotami.

## Projekty unijne

Oprócz lektury dokumentów wskazujących oczekiwane i pożądane drogi rozwoju robotyki warto sprawdzić, w co już inwestuje Unia Europejska, a więc na czym się koncentrują badania ostatnio zrealizowane w ramach tzw. projektów zintegrowanych (Integrated Project - IP) 6. Programu Ramowego.

Projekt COGNIRON dążył do stworzenia robotów kognitywnych nie tylko wspomagających człowieka, ale nadających się na kompanów ludzi. Zakłada się, że roboty tego typu będą stale doskonaliły swoje umiejętności i dostosowywały się do potrzeb ich właścicieli. W związku z tym percepcja, metody porozumiewania się z człowiekiem i innymi robotami, uczenie się oraz rozumienie otaczającego środowiska przyciągały uwagę zespołu badawczego. W sferze zainteresowań projektu I-SWARM były roje mikrorobotów. Duże nadzieje są pokładane w zdolności do samoorganizacji rojów, a w szczególności do budowy (samomontażu) różnorodnych konstrukcji. Badania koncentrowały się na zbiorowej percepcji oraz współpracy tysięcy agentów. Istotne jest wytworzenie pojedynczego mikro-roboty o szerokich zdolnościach percepcyjnych i komunikacyjnych oraz możliwościach adaptacyjnych.

Projekt NEUROBOTICS dążył do stworzenia systemów bionicznych, w których dojdzie do integracji urządzeń technicznych z tkanką żywą. Szczególnym zainteresowaniem cieszy się łączenie ciała człowieka z urządzeniami technicznymi (np. protezami), a w szczególności bezpośrednia komunikacja z móz-

gowiem. Z kolei projekt CoSy zmierzał do opracowania metod konstruowania systemów zdolnych do percepcji, rozumienia i fizycznych interakcji ze swym środowiskiem. Dąży się do osiągnięcia takiego stop-



Politechnika w Lozannie prowadzi prace zmierzające do stworzenia urządzeń sterowanych falami mózgowymi

Fot. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne

nia doskonałości w wykonywaniu zadań, jaką osiąga człowiek. Aby to było możliwe, opracowywany system powinien mieć zdolność do wyczuwania kontekstu, w jakim działa, oraz prowadzenia różnych form rozumowania w celu inteligentnego zachowania się.

Projekt RobotCub miał za zadanie stworzenie otwartej platformy badawczej do prowadzenia eksperymentów dotyczących zdolności poznawczych humanoidów. Szczególnie istotne jest prowadzenie badań



iCub to humanoid wielkości 3,5-letniego dziecka stworzony w ramach projektu Komisji Europejskiej, a przeznaczony do badań nad procesami poznawczymi

Fot. RoboCub

nad kognitywistyką biorących pod uwagę posiadanie fizycznego ciała przez robota oraz to, że robot operuje w rzeczywistym środowisku. W wyniku tego projektu powstał robot humanoidalny CUB (ang. *Cognitive Universal Body*) przeznaczony do prowadzenia wzmiankowanych badań.

Natomiast projekt SMErobot miał na celu stworzenia robota dla potrzeb małych i średnich przedsiębiorstw, a więc taniego, o dużym stopniu adaptacji do różnych wymagań tych przedsiębiorstw w zakresie automatyzacji produkcji. Rozwiązania tak postawionego problemu upatruje się w programowaniu robota poprzez demonstrację, czyli prezentację przez operatora, jak ma być zrealizowane zadanie. Instrukcje robotowi przekazywane są za pomocą głosu i gestów operatora oraz poprzez przedstawianie grafiki (np. rysunków). Powstały robot powinien być na tyle bezpieczny, aby mógł współdzielić przestrzeń roboczą z człowiekiem.



Projekt DustBot, finansowany przez Komisję Europejską, miał za zadanie doprowadzić do opracowania i przetestowania zespołu robotów współpracujących ze sobą przy porządkowaniu przestrzeni miejskiej.

Fot. Materiały projektu DustBot

W 7. Programie Ramowym nadano robotyce wyższy priorytet i powiązano ją z systemami kognytywnymi. Dąży się do opracowania systemów, które będą reagowały inteligentnie oraz autonomicznie radziły sobie z lukami w swej wiedzy, zmieniającymi się sytuacjami i kontekstem działania. Innymi słowy, roboty mają sobie radzić z sytuacjami, które nie były przewidziane w momencie ich projektowania. Systemy te powinny współdziałać z ludźmi w sposób naturalny. Nacisk jest kładziony na rozumienie dynamicznie zmieniającego się środowiska. Oczywiście poza badaniami prowadzącymi do rozszerzenia zdolności umysłowych robotów, finansowane są również prace dotyczące zwiększenia zdolności manipulacyjnych, chwytania, bezpieczeństwa, nawigacji itd. Jednym z ciekawszych przedsięwzięć jest ECHORD (*European Clearing House for Open Robotics Development*), którego zadaniem jest wzmocnienie współpracy między przemysłem a instytucjami badawczymi zajmującymi się robotyką. W ramach tego przedsięwzięcia finansowane są projekty nakierowane na aktualne potrzeby przemysłu, ale w zamian przemysł europejski udostępnia laboratoriom badawczym produkowany przez siebie sprzęt po niższych cenach. Do konkursu o finansowanie projektów stają instytucje badawcze zajmujące się robotyką. Przewiduje się, że propozycje projektów będą dotyczyły:

- Bezpiecznej współpracy człowieka z robotem
- Złożonej manipulacji, a więc konstrukcji rąk i dłoni wyposażonych w odpowiednie czujniki, tak aby sprawnie realizować czynności manualne
- Manipulatorów mobilnych oraz ich wzajemnej współpracy
- Sieci robotów, gdzie badania będą zogniskowane na komunikacji między robotami oraz na architekturach zorientowanych na usługi (ang. *Service Oriented Architecture* – SOA).

Jak widać obecne zainteresowania przemysłu daleko odsunęły się od robotów przemysłowych oraz ich wykorzystania do realizacji różnych zadań technologicznych.

## Podsumowanie

Należy zwrócić uwagę, że robotyka może odegrać obecnie taką samą rolę, jaką odegrały programy kosmiczne w latach 50., 60. i 70. ubiegłego stulecia. Może stać się motorem postępu, rozwoju technologii i wyzwaniem oddziałującym na wyobraźnię. Z tym, że robotyka w niewspółmiernie większym stopniu nakierowana jest na zastosowania pokojowe niż programy kosmiczne, które były elementem wyścigu zbrojeń. Ponadto upowszechnienie się robotów będzie miało kolosalny wpływ nie tylko na przemysł i usługi, ale również na sektor edukacji. Tak jak obecnie uczniów szkoli się w wykorzystaniu komputerów, tak w przyszłości będą uczyć się współdziałania z robotami. To oznacza, że oddziaływanie robotów będzie wykraczało poza sektory ich produkcji i zastosowań, obejmując także działy gospodarki bezpośrednio z nimi nie związane: edukację, serwisowanie etc.

Przeanalizowane opracowania koncentrowały się na zagadnieniach badawczych i technologicznych. Należy jednak nadmienić, że bardzo istotne są również zagadnienia prawne związane z bezpieczeństwem użytkowania tych urządzeń, zachowaniem intymności czy poufnością danych. Jeżeli dojdzie do wypadku, w którym brał udział pojazd bez kierowcy, to kto ponosi odpowiedzialność? Skoro pacjent lub zniepełnoletni staruszek monitorowany jest przez robota, to czy może się to odbywać w każdej sytuacji życiowej? Robot-kompan zgromadzi bardzo szczegółową wiedzę o nas, co się stanie, jeżeli ta wiedza trafi w niepowołane ręce? Stworzenie powłoki robota do złudzenia imitującej oblicze ludzkie już obecnie nie jest trudne. Czy ludzie zaakceptują urządzenia, które mogą ich wprawić w konsternację? Próba znalezienia odpowiedzi na te i wiele podobnych pytań z zakresu etyki stanowi dodatkowe wyzwanie. Pewną wskazówką mogą tu być prawa robotyki sformułowane przez pisarza *science fiction* Isaaca Asimova w latach 40. XX wieku.

Urzeczywistnienie wizji wyrażonych w tym artykule wymaga rozwoju wielu technologii, np. autonomicznej nawigacji, uczenia maszynowego, percepcji otoczenia, reprezentacji środowiska, planowania, wspólnych protokołów komunikacyjnych, rozpoznawania obrazów i mowy, rozumienia języka naturalnego. Robotyka jest

w dużej mierze rozwijana jako rezultat rozwoju technologicznego. Innymi słowy nowe zastosowania powstają wskutek pojawiania się nowych możliwości. Takie podejście niestety niesie za sobą kłopoty z integracją wielkich systemów. Potrzebne są prace nad ogólną teorią robotyki, a więc nad formalizacją wielu zagadnień, które dotychczas były rozwiązywane intuicyjnie. Bardzo istotna jest formalizacja opisu środowiska oraz robota czy wielu współdziałających robotów. Należy tu podkreślić to, że postrzeganie otoczenia związane jest z niepewnością wnoszoną zarówno przez samo środowisko robota, jak i czujniki traktowane jako urządzenia pomiarowe oraz przez interpretację danych z nich otrzymanych. Planowanie w obliczu niepewności jest zagadnieniem bardzo trudnym. Jednym z najistotniejszych problemów do rozwiązania jest powiązanie niskopoziomowych pętli sprzężenia percepcja-akcja z wysokopoziomowym wnioskowaniem symbolicznym wymagającym odpowiedniej reprezentacji danych. Wynika z tego, że największym wyzwaniem jest rozwój algorytmów zaliczanych do inteligencji maszynowej. Należy tu podkreślić, że roboty są urządzeniami działającymi w czasie rzeczywistym, więc opracowywane algorytmy muszą działać dostatecznie szybko. Inną kwestią jest odporność na błędy i odpowiednie reagowanie na te błędy. Postulowane systemy muszą cechować się niezawodnością nie mniejszą niż ta oczekiwana od wyrobów przemysłu lotniczego, natomiast nieoczekiwanych sytuacji może tu być znacznie więcej niż w trakcie lotu samolotu.

Tempo rozwoju systemów o postulowanej złożoności uwarunkowane jest zdolnością do powtórnego wykorzystania raz stworzonego oprogramowania. Stąd prace nad programowymi strukturami ramowymi, modularnością oprogramowania oraz wzorcami programowymi. Zapewne nie uda się stworzyć jednego standardu, ale na pewno pisanie oprogramowania dla nowych systemów za każdym razem od początku nie wchodzi w rachubę. W przeważającej mierze do tej problematyki podchodzi się w oparciu o doświadczenia zdobyte przez programistów. Niemniej jednak wątpliwe jest, czy uda się uzyskać w ten sposób rozwiązanie zadowalające dla wszystkich typów robotów. Należy oczekiwać, że jedynie odpowiednia formalizacja rozważań da tu oczekiwane rezultaty.

Szybki postęp w robotyce jest uwarunkowany postępowaniem czynionym w wielu dziedzinach techniki. W szczególności potrzebne są lekkie i wydajne źródła energii, lekkie i wytrzymałe materiały konstrukcyjne, szybkie komputery, różnorodne czujniki, algorytmy sztucznej inteligencji etc. Wymienienie obiecujących kierunków badawczych w tych i wielu innych przemilczanych tu dziedzinach zostało poza zainteresowaniem tego opracowania. Nie należy stąd wyciągać wniosku, że te badania są nieistotne, ale jedynie należy skonstatować, iż tak krótkie opracowanie nie mogło odnieść się w pełni do tak rozległego materiału.

Ze względu na szczupłość zasobów zarówno finansowych, jak i względnie nieduże środowisko robotyków, w Polsce należy się skoncentrować na kilku zastosowa-

waniach, ale niestety, jak widać z przedstawionego tu materiału, nie ogranicza to w zasadniczy sposób liczby technologii niezbędnych do realizacji rozpatrywanych urządzeń. Ten artykuł można potraktować jako materiał do dyskusji nad racjonalnym wyborem owych zastosowań.

## Bibliografia

1. Computing Community Consortium, Computing Research Association: *A Roadmap for US Robotics. From Internet to Robotics*. 21.05.2009.
2. EURON - European Robotics Network, Network of Excellence, Information Society Technologies Priority DR.1.3: *Research Roadmap V.4.1*. 26.08.2008
3. EUROP - European Robotics Technology Platform: *Robotic Visions to 2020 and Beyond. The Strategic Research Agenda for Robotics in Europe*. 7/2009
4. Chatila R., Merlet J.P. (red.): *IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IROS 2008, 22–26 września, 2008, Nicea, Francja.
5. Ikeuchi K. (red.): *The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA-2009)*, 12–17 maja 2009, Kobe, Japonia.
6. Kozłowski K. (red.): *Robot Motion and Control 2009. Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol.396, Springer 2009. (7th International Workshop on Robot Motion and Control, RoMoCo'09, 1–3 czerwca, 2009, Czerniejewo, Polska)
7. Kozłowski K.: *Robotyka w Polsce*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
8. Takanishi A., Nakamura Y., Heimann B. (red.): *17th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control*, RoManSy'2008, 5–9 czerwca 2008, Tokyo, Japan. International Centre for Mechanical Sciences CISM, 2008.
9. Tchoń K., Zieliński C. (red.): *Problemy robotyki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Prace Naukowe – Elektronika, z. 166, Warszawa, 2008. (X Krajowa Konferencja Robotyki, 3–6 września 2008, Piechowice, Polska).
10. Xi N., Hamel W.R.: *IEEE/RSJ 2009 International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IROS 2009, 11–15 października, 2009, St. Louis, USA.
11. Zielińska T., Zieliński C. (red.): *16th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control*, RoManSy'06, 20–24 czerwca 2006, Warszawa, Polska. International Centre for Mechanical Sciences CISM Courses and Lectures No.487, Springer, Wien, New York. 2006. ■

REKLAMA ▼

