

Przegląd robotów humanoidalnych

Zdzisław Kowalczyk, Michał Czubenko

Katedra Systemów Decyzyjnych i Robotyki, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska

Streszczenie: W niniejszym artykule przedstawiamy najpopularniejsze roboty humanoidalne, wyróżniając ich ważniejsze cechy, porównując podstawowe charakterystyki, biorąc przy tym pod uwagę pożądane kognitywne aspekty rozwoju robotyki. Wśród osiągalnych cech rozmaitych rozwiązań aparatów humanoidalnych dostępnych na rynku – wyróżnia się głównie stopień swobody, rodzaj napędu, oraz możliwości wyrażania *mimiki twarzy*, jak również ekspresji *emocji*.

Słowa kluczowe: roboty, humanoidalne cechy

Od pół wieku obserwujemy postępującą automatyzację. Coraz więcej urządzeń posiada wbudowane systemy komputerowe, które podejmują decyzje w coraz to większym zakresie. Robotyka weszła do szkół, gdzie dzieci korzystają ze współpracy z robotami ucząc się języków oraz rozwiązując rozmaite edukacyjne zadania. Wkrótce dzięki wysoko wyspecjalizowanym robotom, najprawdopodobniej wiele zawodów, takich jak np. strażak czy żołnierz, zasadniczo zmieni swój profil [1]. Wśród robotów wykorzystywanych w medycynie wymienić można ultra-dokładne roboty chirurgiczne (tnące z dużo większą precyzją niż człowiek), roboty wspierające rehabilitację, bądź zajmujące się ludźmi starszymi, dziećmi, osobami niepełnosprawnymi, itp. [2–4]. Postęp ten zachodzi wraz z powiększającą się autonomią konstruowanych robotów [5, 6]. W konsekwencji tego pojawiają się duże projekty autonomicznych pojazdów (typu samochód, samolot, czy statek), które posiadają funkcję samodzielnego podejmowania decyzji dotyczących sposobu ich działania [7, 8].

1. Podział robotów mobilnych ze względu na rodzaj układu lokomocji

Nowoczesne roboty charakteryzują się zróżnicowaną budową, uzależnioną od ich przeznaczenia. W każdym jednak przypadku, dąży się do coraz większej autonomii. Można pokusić się o stwierdzenie, że jest to nowoczesna odmiana cybernetyki, albowiem większość rozwiązań stosowanych w robotyce polega na naśladowaniu przyrody ożywionej, a w szczególności sposobu myślenia oraz poruszania i zachowania się człowieka. Znane są projekty robotów modelowanych na przykładzie muchy, muła, geparda, czy w końcu twory humanoidalne. Ta ostatnia dziedzina rozwijana jest szczególnie intensywnie. Humanoidy potrafią już chodzić po drabinie oraz otwierać drzwi. Mogą startować w konkursach (np. *DARPA Robotics Challenge*). Wykazują się też umiejętnością werbalnego komunikowania

się z człowiekiem (jest to szczególnie ważny aspekt HSI – *Human-System Interface*).

Z technicznego punktu widzenia, napęd jest bardzo ważnym elementem konstrukcji robota. Determinuje on możliwości manipulacyjne, zakres prędkości robota, oraz jego mobilność terenową (możliwość poruszania się w określonych warunkach środowiskowych), a w konsekwencji również jego możliwości funkcjonalne, w tym cechy humanoidalne. Uwzględniając rodzaj napędu, wyróżnić można kilka podstawowych typów robotów [9]:

- kołowe – służące głównie do prostych celów, (np. tzw. *linefollowery*),
- gąsienicowe – mogące poruszać się w zaawansowanym terenie, głównie naturalnym (służące do rozpoznania, lub na przykład detonowania ładunków wybuchowych),
- kroczące – działające w trudnym środowisku zarówno industrialnym, jak i naturalnym (służące do różnorodnych celów),
- o napędzie hybrydowym.

W ostatnich latach widać wielki postęp w gałęzi robotów kroczących, które umożliwiają nawet chodzenie po schodach. Tego rodzaju urządzenia kroczące z reguły mają kształty humanoidalne i dlatego też najbardziej swoją budową przypominają sylwetkę człowieka.

2. Roboty humanoidalne

Wśród wielu zadań, mających na celu odpowiednie oprogramowanie humanoida, wyróżnić można projekty, których pobocznym celem jest modelowanie zachowania człowieka. Przyczyny takiego podejścia bywają różne, jednakże większość tego typu projektów opiera się na przesłankach socjologicznych. Roboty przypominające w zachowaniu człowieka są postrzegane przez ludzi jako bardziej przyjazne i łatwiej akceptowalne w społeczeństwie [10]. Takie podejście jest stosowane również w przypadku autonomicznych samochodów, gdzie samochodom nadawane są cechy człowieka (imię, płeć, etc.). Popularne staje się nadawanie wyglądu człowieka nawet *zwykłymi* autonomicznymi maszynom [11]. Z drugiej strony, istnieje podejście modelowe – psychologiczne, które stara się uwzględnić i modelować różnorakie aspekty psychologii człowieka, wśród których wyróżnić się emocje, potrzeby, oraz zaawansowane modele pamięci [12–14]. Celem tego podejścia jest zarówno chęć poszerzenia wiedzy psychologicznej (modelowanie aspektów psychologicznych), jak i wypracowania doskonalszych mechanizmów autoadaptacji w konstruowanych systemach technicznych (automatyki i robotyki).

Większość robotów humanoidalnych jest nastawiona na zadania poznawcze. Poczynając od rozpoznawania obiektów i interakcji z nimi, poprzez zagadnienia dotyczące planowania trajektorii ruchu robotów, manipulatorów, członów wykonawczych (aktuatorów), a kończąc na zaawansowanych strategiach behawioralnych. Poniżej prezentujemy najbardziej znane ze światowych wytworów występujących pod nazwą *robotów humanoidalnych*.

Dobrym przykładem ukazującym jak bardzo się rozwinęła robotyka humanoidalna jest DARPA Robotic Challenge. Jest to konkurs, w którym rywalizują roboty z całego świata, a ich zadaniem jest asystowanie człowiekowi w warunkach katastrofy industrialnej. Zadanie konkursowe składa się z ośmiu prób:

- 1) **Pojazd:** Robot, prowadząc samochód, ma przejechać odcinek drogi z przeszkodami, po czym wysiąść z auta i odejść od niego.
- 2) **Teren:** Robot ma za zadanie przejść trzy przeszkody terenowe o różnym stopniu skomplikowania, poczynając od drobnego murku, a kończąc na niestabilnym gruzowisku.
- 3) **Drabina:** Robot powinien się wspiąć po drabinie, po czym stanąć na podeście, a następnie przejść pod belką poprzeczną.
- 4) **Gruzowisko:** Robot ma za zadanie oczyścić drogę pomiędzy dwiema ścianami z rozrzuconych na drodze bali drwa, a następnie przejść pomiędzy ścianami, aż do drzwi.
- 5) **Drzwi:** Robot powinien przejść trzy rodzaje drzwi, pchane, ciągnięte oraz zamknięte za pomocą klamki.
- 6) **Ściana:** Za pomocą zewnętrznego narzędzia (z przełącznikiem lub spustem), należy wyciąć trójkąt w ścianie.
- 7) **Zawór:** Robot musi zamknąć trzy różne zawory: wajcha, kołowy duży, kołowy mały.
- 8) **Wąż:** Robot ma za zadanie przeciągnąć wąż strażacki do zaworu z wodą i zamocować go na nim.

3. Przegląd robotów humanoidalnych

W niniejszej sekcji skrótowo omawiamy różnorodne roboty humanoidalne zbudowane zarówno w celach komercyjnych, jak i naukowych. Ich podstawowe cechy zawarte są w tabeli 1. Przegląd dokonany został w pierwszym kwartale 2015 roku, a główną cechą łączącą analizowane roboty jest ich podobieństwo do człowieka (w rozmaitych aspektach). Wobec olbrzymiej różnorodności rozwiązań, jako główny wyróżnik zastosowano sposób poruszania.

3.1. Roboty quasi-stacjonarne

W tym punkcie przedstawiamy roboty przytwierdzone do podłoża, bądź przenoszone, nie posiadające możliwości samodzielnej zmiany miejsca położenia.

3.1.1. Affetto

Affetto jest japońskim robotem-dzieckiem. Posiada bardzo realistyczny wygląd dwulatka (również wielkość). Umożliwia wyrażanie min za pomocą sztucznej twarzy. Jego sztuczna skóra, przypomina ludzką, a pneumatyczne siłowniki, pozwalają na dotyk i nacisk (do pewnego stopnia). Robot ten został zaprojektowany do badań nad rozwojem

poznawczym dziecka i relacjami socjologicznymi pomiędzy dzieckiem a dorosłymi [15, 16].

3.1.2. Baxter

Baxter jest para-humanoidalnym robotem produkcyjnym. Jego ramiona mają 7 DoF. Wyposażony jest w system wizyjny, sonar, oraz ekran, na którym można na przykład wyświetlać emocje. Pozwala naukowcom na badania interakcji pomiędzy robotem a człowiekiem, sposobów manipulacji, oraz zaawansowanych metod sterowania i percepcji. Aktualne prace badawcze związane z Baxterem dotyczą metod uczenia pod nadzorem [17].

3.1.3. Kismet

Kismet prezentuje co prawda tylko głowę robota, ale jest ona jedną z najstarszych konstrukcji *robotyckich* wyrażających emocje. Został opracowany i zbudowany przez MIT pod koniec lat 90-tych. Kismet jest robotem dostosowanym do naturalnej, międzyludzkiej komunikacji, zwłaszcza mającej na uwadze język ciała oraz różnego rodzaju elementy motywacyjne człowieka (takie jak emocje). Robot wyposażony jest w zespół sensorów realizujących zmysły wizyjne, słuchowe oraz proprioceptyczne. Robot stosowany był w badaniach nad zachowaniami w trakcie interakcji z człowiekiem (HSI – Human System Interaction), oraz przede wszystkim do doskonalenia mechanizmów procesu uczenia [18, 19].

3.1.4. Simon

Robot Simon został zaprojektowany przez zespół z Georgia Institute of Technology. Nie jest on jednak w pełni humanoidem, posiada bowiem *cialo* tylko od pasa w górę. Nie przeszkadza to jednak w jego praktycznych zastosowaniach. Robot służy do badań nad zagadnieniem uczenia maszyn [20]. Uczenie Simona polega zarówno na identyfikowaniu i powtarzaniu zachowań ze środowiska, jak i interakcji z ludzkim nauczycielem. Aby ułatwić interakcję robot został wyposażony w serię elastycznych aktuatorów (silników o bardzo małej sztywności). Dzięki nim Simon swoimi robotyckimi dłońmi może podobnie jak ludzie, ścisnąć w różnym stopniu przedmioty. Również ze względu na potrzebę interakcji, skonstruowano głowę wyrażającą pewne emocje. Rozwiązania programistyczne również koncentrują się na interakcji z człowiekiem. Dzięki nim, ten humanoidalny robot może uczestniczyć w grach wymagających interakcji (np. Simon *mówi*), a w szczególności rozpoznawać, kiedy w grze następuje jego tura/kolej [21, 22].

3.1.5. Telenoid™

Telenoid™ jest bardzo nietypowym robotem (Rys. 1). Został zaprojektowany przez Osaka University and Hiroshi Ishiguro Laboratories, Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR), jako korpus humanoidalny z wyrażającą emocje głową. Jego jedynym celem jest efektywne wyrażanie *obecności ludzkiej*. Telenoid™ jest sterowany zdalnie przez drugiego człowieka, którego obecność emuluje. Badania dowiodły, że jego efektywność w *wyrażaniu* drugiej osoby pomaga (z socjologicznego punktu widzenia) zarówno osobom starszym, jak i dzieciom [23]. Ze względu na określone zastosowania, robot posiada jedynie 9 DoF, waży tylko 3 kg, i zbudowany jest z materiału doskonale symulującego ludzką skórę. Badanie prowadzone

Tab. 1. Zestawienie cech robotów humanoidalnych.**Tab. 1.** Comparison of features of humanoid robots.

Robot	DoF	Kamera	Palce	Nogi	Zaawansowane zadania	Emocje	Autonomia
AcYut	28	TAK	2	TAK	TAK	NIE	NIE
Affetto	N/A	N/A	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE
ASIMO	34	2	4	TAK	TAK	NIE	TAK
ASRA C1	35	TAK	2	TAK	Noszenie ciężarów	NIE	NIE
Baxter	14	TAK	NIE	NIE	NIE	TAK	TAK
CHARLI	25	2	5	TAK	TAK	NIE	TAK
EMIEW 2	25	2	2	Koła	Duża prędkość	NIE	TAK
FLASH	49	1	4	IP	NIE	TAK	TAK
HRP-4	34	2	5	TAK	TAK	NIE	NIE
HRP-4C	N/A	2	5	TAK	TAK	TAK	NIE
Kismet	15	2	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE
Kobian	68	1	5	TAK	TAK	TAK	NIE
NAO	25	2	3	TAK	NIE	TAK	TAK
PEtMAN	27	NIE	NIE	TAK	Dynamiczne ruchy	NIE	NIE
RoNA	12	NIE	NIE	NIE	Podnoszenie ludzi	NIE	NIE
S-One	N/A	TAK	3	TAK	Manipulacja	NIE	NIE
Simon	40	2	5	NIE	Chwywanie	TAK	TAK
TOPIO	39	2	5	TAK	NIE	NIE	NIE
Telenoid™	9	1	NIE	NIE	NIE	TAK	TAK
Valkyrie	44	> 10	4	TAK	TAK	NIE	TAK

**Rys. 1.** Telenoid™, Osaka University and Advanced Telecommunications Research.**Fig. 1.** Telenoid™, Osaka University and Advanced Telecommunications Research.

przy pomocy Telenoida™, mają na celu lepsze wysterowanie ruchów robota, tak aby sprawiały wrażenie całkowicie naturalnych [24, 25].

3.2. Roboty kołowe

Przedstawiamy tu roboty o kołowym układzie lokomocji. Wyposażenie robotów w możliwość przemieszczania się z użyciem napędu kołowego znacznie zwiększa ich autono-

**Rys. 2.** RoNA, Hstar Technologies.**Fig. 2.** RoNA, Hstar Technologies.

mię. Roboty takie nie mogą jednak pokonywać przeszkód pionowych, ani przemieszczać się po schodach.

3.2.1. RoNA™ SerBot

RoNA™ (Rys. 2) to seria robotów parahumanoidalnych stworzonych przez Hstar Technologies w celu zapewnienia osobom starszym wymaganej opieki (nie koniecznie tylko medycznej). Robot serwisowy SerBot serii RoNA realizuje

zadania opieki osób starszych, potrafi przenosić ciężkie przedmioty, reagować na polecenia, a nawet przewieźć osobę, którą się opiekuje, na inne miejsce. Docelowo robot RoNATM ma mieć 23 DoF oraz duży udźwig (rzędu wagi dorosłej osoby). Głównym celem robota jest niesienie pomocy, podnoszenie osób, które nie mogą wstać, czy kładzenie ich do łóżka lub wanny. Robot wyposażony jest dodatkowo w możliwość bezpośredniej telekomunikacji z lekarzem [26].

3.2.2. EMIEW 2

EMIEW 2 jest robotem produkowanym przez firmę Hitachi, przeznaczonym do poruszania się w środowisku biurowym – w szczególności zaś, do nadążania za człowiekiem. Pełni on rolę biurowego asystenta, który potrafi się poruszać z prędkością 6 km/h. Ze względu na docelowe środowisko pracy, robot został wyposażony w 14-kanałową macierz mikrofonów, tak aby jednoznacznie mógł określić kierunek dźwięku oraz wydane polecenie (dzięki skutecznemu odfiltrowaniu szumu) [27, 28]. EMIEW 2 posiada także radar laserowy, pozwalający mu mapować przestrzeń dookoła niego. Jego dość osobiście zaprojektowane nogi pozwalają na trzy tryby [29]:

- odwróconego wahadła (postać wyprostowana), dzięki czemu jest w stanie rozwinąć dużą prędkość,
- lekkiego przykucnięcia (hamulec w postaci *sponu*), przygotowanie do przejścia pomiędzy trybami,
- postaci kłęczącej, charakteryzującej się dużą stabilnością (lecz zmniejszoną prędkością).

3.2.3. FLASH

Robotem humanoidalnym rodzimej produkcji jest FLASH (Rys. 3). Stara się on emulować wygląd i zachowanie człowieka (pod pewnymi względami), a zwłaszcza możliwość mimiki twarzy [30]. Jednakże jest on zupełnie niepodobny do Kismet, który składa się z osobnych modułów ust, oczu, itp. FLASH jest mianowicie zbudowany z głowy umożliwiającej okazywanie emocji (EMYS - Emotive Head of a Social Robot) [31], oraz korpusu osadzonego na dwukołowej platformie poruszającej się na zasadzie odwróconego wahadła. Robot dzięki wyrażaniu emocji, potrafi znacznie lepiej komunikować się z ludźmi, a w szczególności, być przez nich lepiej postrzegany.

3.3. Roboty kroczące

Najbardziej zaawansowanym systemem lokomocji jest układ dwóch kończyn. Z takimi robotami wiążą się jednak problemy utrzymania równowagi oraz zmiany (zwiększenia lub zmniejszenia) prędkości. Ponadto, pomimo posiadania kończyn dolnych nie wszystkie przedstawione poniżej roboty potrafią chodzić po schodach.

3.3.1. AcYut

AcYut - w Sanskrycie *Ten który nie upada* lub *niezniszczalny* - jest to nazwa serii robotów humanoidalnych wykonywanych przez Centre for Robotics and Intelligent Systems przy Birla Institute of Technology and Science, Pilani. Robot ten posiada 28 stopni swobody (DoF), potrafi się poruszać na dwóch nogach, a w celu postrzegania bodźców ma zainstalowane czujniki Inertial Measurement Unit (6 DoF) oraz kamerę Firefly MV. Jego przeznaczeniem jest

badanie sposobów sterowania zaawansowanymi robotami kroczącymi, oraz poszukiwanie technologii teleoperacji [32].

3.3.2. ASIMO

ASIMO Advanced Step in Innovative MObility (Rys. 4) stanowi serię robotów wyprodukowanych przez firmę Honda Motor Company. Ma ok. 120 cm, waży 63 kg, i jest jednym z pierwszych robotów humanoidalnych. Celem ASIMO jest taki rozwój robotyki humanoidalnej, aby w przyszłości roboty mogły pomagać człowiekowi w jego codziennych obowiązkach. Tak sformułowany cel jest paradygmatem robotyki socjalnej [33]. ASIMO ma 34 stopnie swobody (DoF), może chodzić po schodach, a nawet biegać z prędkością do 6 km/h [34, 35]. Jego chwytaki są przystosowane do trzymania przedmiotów o różnych kształtach. Dodatkowo, oprócz różnego rodzaju zadań autonomicznych, ASIMO jest przystosowany także do sterowania za pomocą myśli [36].

3.3.3. CHARLI

CHARLI, Cognitive Humanoid Autonomous Robot with Learning Intelligence, jest pierwszym – *prawdziwym* ze względu na wygląd – robotem humanoidalnym Stanów Zjednoczonych. Został zaprojektowany i zbudowany w Virginia Tech University. CHARLIE jest ciągle rozbudowywany pod różnymi względami. Robot posiada 25 DoF, a pomimo tego waży tylko 12.4 kg, gdyż jego konstrukcja i serwo mechanizmy są wyjątkowo lekkie. Wyposażony jest w trzyosiowe żyroskopy i akcelerometry, kamery oraz enkodery pozycji stawów. Rozwijany projekt ma na celu prowadzenie badań nad zaawansowanymi metodami chodzenia dwunożnego (odpornymi na różnego rodzaju zakłócenia). Robot używany jest w konkursach robo-piłki, może chodzić z prędkością 1.4 km/h, a nawet tańczyć [37, 38].

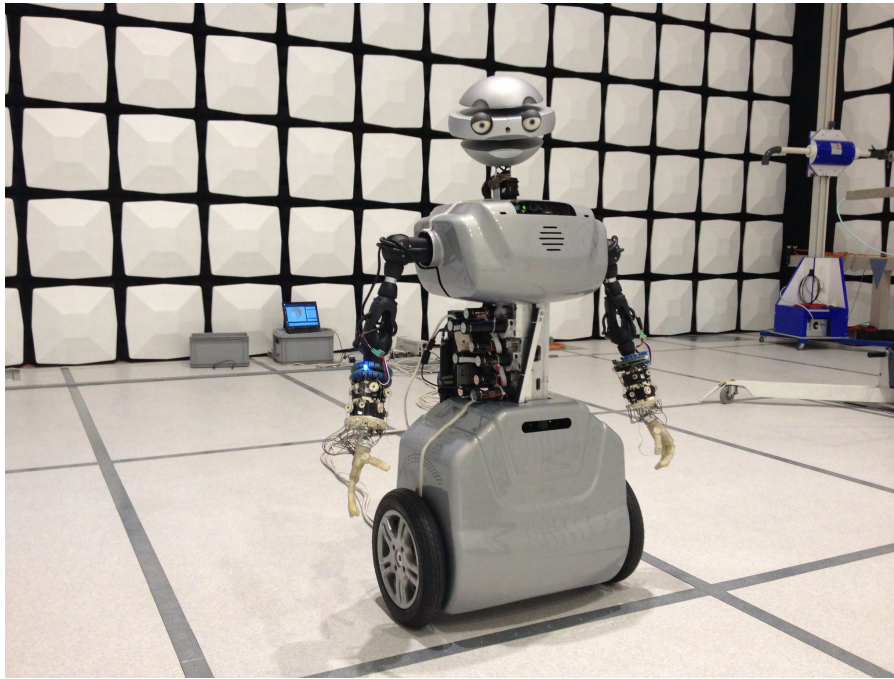
3.3.4. HRP

HRP, Humanoid Robot Prototype, opisuje serię robotów tworzonych przez firmę Kawada Industries we współpracy z National Institute of Advanced Industrial Science and Technology od 1999 roku. Aktualna wersja to HRP-4. Roboty HRP zostały stworzone do współpracy z ludźmi. Rozwój robotów HRP został podyktowany chęcią lepszego dopasowania do warunków pracy, zarówno od strony mechanicznej (zwiększenie liczby stopni swobody, zmniejszenie wagi, itp.), jak i ściśle systemowej (platforma elektroniczna, projektowanie systemów percepcji i interakcji, itp.). Robot ma udźwig 0.5 kg, 34 DoF, waży 39 kg. Jego płyta systemowa zaopatrzona jest w mikrokomputer Pentium M. Robot funkcjonuje w oparciu o system operacyjny typu Linux oraz inne rozwiązania oparte na technologii RT (*Real Time*) [39].

HRP-4C jest nietypowym robotem z serii HRP o kształcie kobiecego androida. Potrafi poruszać się w sposób przypominający człowieka, mówić, a nawet śpiewać. Jego waga jest również zbliżona do wagi młodej kobiety (43 kg). Cechą charakterystyczną tego androida są możliwości mimiczne (podobnie jak Affectto). Twarz HRP-4C posiada 8 DoF [40].

3.3.5. Kobian

Robot Kobian (Rys. 5) opracowany został przez WASEDA University w Tokyo [41] na podstawie wcześniejszych prototypów. Jego podstawowym celem jest interakcja z ludźmi i pomoc w codziennych pracach. Robot posiada aż 68 stopni swobody, z czego 24 są przeznaczone na mimikę.



Rys. 3. FLASH, Politechnika Wrocławska.
Fig. 3. FLASH, Wrocław University of Technology.



Rys. 4. ASIMO, Honda.
Fig. 4. ASIMO, Honda.



Rys. 5. Kobian, Waseda University.
Fig. 5. Kobian, Waseda University.

Dzięki specjalnie skonstruowanej *twarzy* robot jest w stanie wyrazić 7 podstawowych emocji o różnych stopniach natężenia [42]. Aktualne badania związane z robotem dotyczą różnic kulturowych w postrzeganiu emocji oraz możliwości ich ekspresji nie tylko za pomocą mimiki [43]. Kobian posiada dwie kamery umożliwiające wdrażanie metod analizy środowiska z wykorzystaniem stereowizji [44]. Dzięki temu potrafi on lepiej orientować się i poruszać w środowisku. Możliwości ekspresyjne robota znalazły uznanie

w społeczeństwie japońskim, gdzie został on okrzyknięty pierwszym robotem-komikiem.

3.3.6. ASRA C1

Robotem, który również potrafi odpowiednio używać siły nacisku, jest ASRA C1 (Rys. 6). Stworzony przez firmę Asratec, robot sterowany jest przez system V-SIDO, który pozwala na kierowanie nim za pomocą telefonu komórkowego.



Rys. 6. ASRA C1, Asratec.
Fig. 6. ASRA C1, Asratec.

wego, okularów (konceptcja sterowania przez wzrok, ogólnie tzw. *Corpus Iudicium* [45]), elementu typu joystick, a także w klasycznym trybie kopiowania ruchów. Robot ten posiada 35 stopni swobody, akcelerometr, żyroskop, sensory magnetyczne, kamerę oraz kamerę Kinect, które umożliwiają mu rozpoznawanie ruchów ludzi podczas interakcji. Ciekawostką jest to, że robot posiada ukryte dodatkowe kończyny górne (pomocne przy przenoszeniu obiektów, ale niestety sterowane ręcznie przez operatora).

3.3.7. Valkyrie

Valkyrie (w rodzimym języku Walkiria) jest tak zwanym robotem humanoidalnym *następnej generacji*, zdolnym do wykonywania zadań wymagających dużej dynamiki, a także dużej precyzji działania. Należy zauważyć, że poprzednie generacje robotów nie były zdolne do wykonywania tak precyzyjnych działań i o tak szerokim spektrum. Postęp ten uzyskano poprzez zastosowanie dużej liczby sensorów oraz nowoczesnych technologii. Walkiria jest budowana przez NASA Johnson Space Center. Posiada wysokość 188 cm, wagę ponad 130 kg i 44 stopnie swobody. Podstawowym jej przeznaczeniem jest wykonywanie pracy autonomicznego *robonauty*. Projekt ten został jednak podjęty głównie dla udziału w zawodach DARPA. Jest to jeden z niewielu robotów humanoidalnych, które są zdolne do zaawansowanych zachowań, w szczególności autonomicznych. Walkiria jest bowiem zasilana z akumulatorów, które nosi na sobie (wystarczają one na około godzinę pracy robota). Potrafi reagować z dużym wyczuciem siły, a w szczególności otwie-

rać drzwi. Robot został wyposażony w trzy LIDAR-y (*Light Detection and Ranging*), 4 kamery HD, 6 kamer głębi (*depth camera*) oraz niezliczoną liczbę innych sensorów. Pomimo tak zaawansowanego wyposażenia robota, oraz potężnego zespołu rozwijającego oprogramowanie, robot Walkiria nie wypadł dobrze w konkurencji uczestniczących w zawodach DARPA. Tym nie mniej, NASA stara się tak rozwinąć ten projekt robota humanoidalnego, aby Walkiria wkrótce mogła już całkowicie samodzielnie badać odległe planety.

3.3.8. TOPIO

TOPIO (Rys. 7) jest robotem-zabawką wielkością przewyższającym człowieka. Wyprodukowany został przez firmę TOSY Toys. Jego podstawowym celem jest gra w tenisa stołowego przeciwko człowiekowi. Ze względu na takie zastosowanie, robot nie potrzebuje mimiki twarzy, jednakże posiada *ludzkie* dłonie, przez co liczba stopni swobody (DoF) wynosi 39: 7 - na każde ramię (tyle co człowiek), 6 - każda noga, 5 - każda dłoń, 1 - głowa. Oprzyrządowanie robota TOPIO stanowią 4 kamery, dzięki którym jest on w stanie rozpoznać i wyznaczyć trajektorię nadlatującej piłeczki. Do tego celu potrzebuje aż dwóch jednostek obliczeniowych. Prowadząc grę, TOPIO potrafi wymienić piłeczkę nawet 10 razy.

3.3.9. S-One

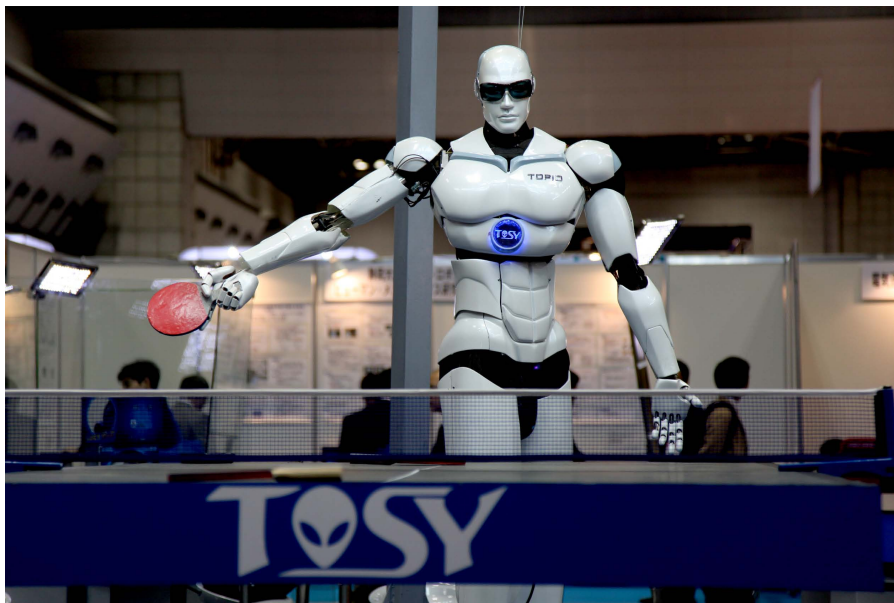
S-One jest również robotem japońskim, jednakże w odróżnieniu od robotów przedstawionych wcześniej jest w znacznie mniejszym stopniu humanoidem. Robot waży 95 kg i jest wysoki (ma około 130 cm). S-One zajął pierwsze miejsce w DARPA Robotics Challenge Trials w 2013 roku, przechodząc 27 prób na 32 możliwe. Dzięki dedykowanemu oprogramowaniu, robot potrafi poruszać się w nieznanym i niestabilnym terenie, chodzić po drabinie, oraz otwierać drzwi. Dodatkowo dzięki użyciu silników chłodzonych cieczą, S-One może podnosić znacznie większe ciężary. Jako manipulatory używane są chwytaki firmy Robotiq, umożliwiające chwytanie różnego rodzaju kształtów. Niestety S-One nie jest robotem autonomicznym, gdyż jest on jedynie zdalnie sterowany przez użytkownika.

3.3.10. Petman

Przyglądając się różnego rodzaju robotom humanoidalnym, warto zwrócić uwagę na różnorodne rozwiązania, które *de facto* oddają pożądaną sylwetkę lub zachowanie się humanoida. Robotem, który zachował zarówno kształt, jak i dynamikę ruchów człowieka, jest PETMAN (*Protection Ensemble test Mannequin*). Celem kryjącym się za tym projektem jest testowanie ubiorów militarnych, odpornych na rozmaite chemiczne toksyny. Aby odpowiednio przetestować dany ubiór, robot musi zachowywać się jak człowiek (np. poruszać się w sposób gwałtowny), a także symulować warunki wewnętrzne (wilgotność, Ph, temperaturę, itp.) człowieka poddanego wysiłkowi fizycznemu. Robot ten, dzięki specjalistom z Darpa Robotics, potrafi poruszać się dynamicznie, robić skłony, przysiądy, biegać na bieżni oraz wchodzić po schodach [46]. Jednak, jak większość humanoidów wymaga on jeszcze zewnętrznego sterowania przez operatora.

3.3.11. NAO

Robotem produkowanym seryjnie, choć głównie dla celów edukacyjnych, jest NAO (Rys. 8). Dzięki małym rozmiarom



Rys. 7. TOPIO, TOSY.
Fig. 7. TOPIO, TOSY.

doskonale sprawuje się przy nauce programowania robotów. NAO jest wyposażony w 2 kamery, 4 mikrofony, sonar, serię czujników dotykowych. Dzięki bogatemu zestawowi sensorów oraz odpowiedniemu oprogramowaniu, możliwe jest tworzenie programów sterujących robotem, zarówno prostych (w ramach robotyki behawioralnej), jak i bardziej zaawansowanych (realizujących *sztuczną inteligencję*). NAO posiada 25 stopni swobody, potrafi też rozpoznawać dźwięk i syntezować mowę. Na platformie NAO mogą być tworzone rozwiązania wymagane przy zaawansowanym rozpoznawaniu obiektów za pomocą dotyku [47], systemy emulowania i wyrażania emocji [48], oraz ulepszone sposoby chodzenia [49, 50]. Robot NAO uczestniczył także w projektach dotyczących terapii dzieci cierpiących na autyzm [3]. Drobną modyfikacją robota NAO stanowi NAO Torso, działający analogicznie, jednakże bez możliwości mobilnych.

4. Podsumowanie

Przedstawiony przegląd i zestaw robotów nie wyczerpuje oczywiście długiej listy wszystkich dostępnych aktualnie sztucznych humanoidów. Istnieje ich dużo więcej. Wyraźnie przy tym widać trend w badaniach naukowych wyrażający się rozwijaniem złożonych tworów (robotów), podobnych do człowieka. Stopień ich złożoności oraz moc obliczeniowa rośnie z roku na rok. Nadal jednak można stawiać pytanie, kiedy naprawdę roboty będą się zachowywać jak ludzie?

Dzięki ciągłemu i dynamicznemu rozwojowi, roboty stają się coraz bardziej popularne zarówno jako automaty w zastosowaniach przemysłowych, jak i innego rodzaju rozwiązania robotyckie typu *roboty humanoidalne* stosowane do użytku biurowego i domowego. Można oszacować, że w najbliższej dekadzie liczba takich urządzeń – wykorzystywanych pod dachami domów zwykłych ludzi – znacznie wzrośnie. Roboty już potrafią sprzątać, gotować, a nawet – w ważącym stopniu – opiekować się starszymi ludźmi.



Rys. 8. NAO, Aldebaran Robotics.
Fig. 8. NAO, Aldebaran Robotics.

Można zatem pokusić się o stwierdzenie, że w niedługim czasie roboty (zwłaszcza humanoidalne) będą wykonywać większość codziennych zadań domowych. Skoro rośnie za-



również ich liczebność, jak i inteligencja, to czy jednak z czasem nie staniemy przed problemami przedstawianymi od dawna w literaturze fantastyczno-naukowej (takimi jak katastroficzne awarie, czy wręcz *bunt robotów*)?

Bibliografia

- Breland S., McKinney D., Parry D., Peachey C., *NRL Designs Robot for Shipboard Firefighting*, Naval Research Laboratory. SPECTRA"/2012, 8–10.
- Boucenna S., Narzisi A., Tilmont E., Muratori F., Pioggia G., Cohen D., Chetouani M., *Interactive Technologies for Autistic Children: A Review*, *Cognitive Computation*"/2014.
- Shamsuddin S., Yusoff H., Ismail L. I., Mohamed S., Hanapiah F. A., Zahari N. I., *Initial Response in HRI - a Case Study on Evaluation of Child with Autism Spectrum Disorders Interacting with a Humanoid Robot NAO*, "Procedia Engineering"/2012, 1448–1455.
- Broadbent E., Stafford R., MacDonald B., *Acceptance of Healthcare Robots for the Older Population: Review and Future Directions*, "International Journal of Social Robotics"4/2009, 319–330.
- Saunders R., *Towards Autonomous Creative Systems: A Computational Approach*, *Cognitive Computation*"3/2012, 216–225.
- Magill K., Erden Y. J., *Autonomy and Desire in Machines and Cognitive Agent Systems*, *Cognitive Computation*"3/2012, 354–364.
- Deutsch T., Muchitsch C., Zeilinger H., Bader M., Vincze M., Lang R., *Cognitive decision unit applied to autonomous biped robot NAO*, [in:] 9th IEEE International Conference on Industrial Informatics, IEEE, Caparica, Lisbon, July, 2011, 75–80.
- Czubenko M., Ordys A., Kowalczyk Z., *Autonomous driver based on intelligent system of decision-making*, *Cognitive Computation*"/2015.
- Rodríguez A. G. G., Rodríguez A. G. (2011): *Mobile Robots*, [in:] Rodríguez N. E. N. (ed.), *Advanced Mechanics in Robotic Systems*, 41–57, Springer, London.
- Kaplan F., *Who is afraid of the humanoid? Investigating cultural differences in the acceptance of robots*, "International Journal of Humanoid Robotics"03/2004, 465–480.
- Waytz A., Heafner J., Epley N., *The mind in the machine: Anthropomorphism increases trust in an autonomous vehicle*, "Journal of Experimental Social Psychology"/2014, 113–117.
- Kowalczyk Z., Czubenko M., *xEmotion – obliczeniowy model emocji dedykowany dla inteligentnych systemów decyzyjnych*, "Pomiary, Automatyka, Robotyka"17/2013, 60–65.
- Kowalczyk Z., Czubenko M., *Intelligent Decision-Making System for Autonomous Robots*, "International Journal of Applied Mathematics and Computer Science"4/2011, 621–635.
- Kowalczyk Z., Czubenko M., *Interpretation and Modeling of an Emotions System for the Prospective Use in Scheduling Variable Control of Autonomous Agent Systems*, "Frontiers in Robotics and AI – Computational Intelligence"/2016, submitted for publication.
- Ishihara H., Asada M., *Affetto: towards a design of robots who can physically interact with people, which biases the perception of affinity (beyond uncanny)*, [in:] International Conference on Robot and Automation Workshop on Art and Robotics: Freud's Unheimlich and Uncanny Valley, 2013.
- Ishihara H., Yoshikawa Y., Asada M., *Realistic child robot Affetto for understanding the caregiver-child attachment relationship that guides the child development*, [in:] International Conference on Development and Learning, IEEE, August, 2011, 1–5.
- Daniel B., Korondi P., Thomassen T., *New approach for industrial robot controller user interface*, [in:] IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IEEE, November, 2013, 7831–7836.
- Breazeal C., Scassellati B., *A context-dependent attention system for a social robot*, [in:] International Joint Conference on Artificial Intelligence, Stockholm, Sweden, 1999, 1146–1151.
- Breazeal C., *Robot in Society: Friend or Appliance?*, [in:] Agents99 workshop on emotion-based agent architectures, Seattle, WA, 1999, 18–26.
- Cakmak M., Thomaz A., *Designing robot learners that ask good questions*, [in:] 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), Boston, MA, 2012, 17–24.
- Chao C., Lee J., Begum M., Thomaz A., *Simon plays Simon says: The timing of turn-taking in an imitation game*, [in:] RO-MAN, 2011 IEEE, 2011, 235 – 240.
- Chao C., Thomaz A., *Timing in multimodal turn-taking interactions: Control and analysis using timed petri nets*, "Journal of Human-Robot Interaction"1/2012, 4–25.
- Yamazaki R., Nishio S., Ogawa K., Ishiguro H., *Teleoperated android as an embodied communication medium: A case study with demented elderlies in a care facility*, [in:] IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, IEEE, September, 2012, 1066–1071.
- Mara M., Appel M., Ogawa H., Lindinger C., Ogawa E., Ishiguro H., Ogawa K., *Tell me your story, robot. Introducing an android as fiction character leads to higher perceived usefulness and adoption intention*, [in:] 2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), IEEE, 2013, 193–194.
- Ishi C. T., Liu C., Ishiguro H., Hagita N., *Evaluation of formant-based lip motion generation in tele-operated humanoid robots*, [in:] 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, October, 2012, 2377–2382.
- Hu J., Edsinger A., Donaldson N., Solano M., Solochek A., Marchessault R., *An advanced medical robotic system augmenting healthcare capabilities - robotic nursing assistant*, [in:] 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, IEEE, May, 2011, 6264–6269.
- Togami M., Amano A., Sumiyoshi T., Obuchi Y., *DOA estimation method based on sparseness of speech sources for human symbiotic robots*, [in:] Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Acoustics,

- Speech and Signal Processing, 2009, 3693–3696.
28. Sumiyoshi T., Togami M., Obuchi Y., *ASR for Human-Symbiotic Robot EMIEW2 with Mechanical Noise and Floor-Level Noise Reduction*, [in:] 12th Annual Conference of the International Speech Communication Association, Florence, Italy, 2011, 3141–3144.
 29. Hosoda Y., Egawa S., Tamamoto J., Yamamoto K., Nakamura R., Togami M., *Basic Design of Human-Symbiotic Robot EMIEW*, [in:] 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, October, 2006, 5079–5084.
 30. Kędzierski J., Kaczmarek P., Dziergwa M., Tchoń K., *Design for a Robotic Companion*, "International Journal of Humanoid Robotics"2/2015, 1550007 — 15500031.
 31. Kędzierski J., Muszyński R., Zoll C., Oleksy A., Frontkiewicz M., *EMYS-Emotive Head of a Social Robot*, "International Journal of Social Robotics"2/2013, 237–249.
 32. Agrawal T., Gopinath D., *Localization using relative mapping technique for mobile soccer robots*, [in:] International Conference on Communication and Signal Processing, IEEE, April, 2013, 265–269.
 33. Ge S. S., *Social robotics: Integrating advances in engineering and computer science*, [in:] Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Mae Fah Luang University, Chang Rai, Thailand, 2007.
 34. Schaub B., *Asimo learns how to jaywalk*, *New Scientist*"2590/2007, 24.
 35. Tajima R., Honda D., Suga K., *Fast running experiments involving a humanoid robot*, [in:] 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, IEEE, May, 2009, 1571–1576.
 36. Bogue R., *Brain-computer interfaces: control by thought*, "Industrial Robot: An International Journal"2/2010, 126–132.
 37. Lahr D., Hong D., *The Development of CHARLI: A Linear Actuated Powered Full Size Humanoid Robot*, [in:] International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, Seoul, 2008.
 38. Lahr D., Hong D., *A Biomimetic Parallely Actuated Humanoid Robot Design*, [in:] UKC, Raleigh, NC, 2009.
 39. Kaneko K., Kanehiro F., Morisawa M., Akachi K., Miyamori G., Hayashi A., Kanehira N., *Humanoid robot HRP-4 - Humanoid robotics platform with lightweight and slim body*, [in:] 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, September, 2011, 4400–4407.
 40. Kaneko K., Kanehiro F., Morisawa M., Miura K., Nakaoka S., Kajita S., *Cybernetic human HRP-4C*, [in:] 2009 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, IEEE, December, 2009, 7–14.
 41. Endo N., Takanishi A., *Development of Whole-Body Emotional Expression Humanoid Robot for ADL-Assistive RT Services*, "Journal of Robotics and Mechatronics"6/2011, 969–977.
 42. Zecca M., Macrì G., Mizoguchi Y., Monaco V., Endo N., Itoh K., Dario P., Takanishi A. (2010): *Evaluation of the KOBIAN and HABIAN Emotion Expression Humanoid Robots with European Elderly People*, [in:] Parenti Castelli V., Schiehlen W. (eds.), ROMANSY 18 Robot Design, Dynamics and Control, CISM International Centre for Mechanical Sciences, volume 524, 449–456, Springer Vienna, Vienna.
 43. Trovato G., Zecca M., Sessa S., Jamone L., Ham J., Hashimoto K., Takanishi A., *Towards culture-specific robot customisation: A study on greeting interaction with Egyptians*, [in:] 2013 IEEE RO-MAN, IEEE, August, 2013, 447–452.
 44. Kowalczyk Z., Merta T., *Stereo image visualization for VISROBOT system*, [in:] 18th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Miedzyzdroje, 2013, 794–799.
 45. Kowalczyk Z. (2009): *Reaktywny system oddziaływania ze środowiskiem opartym na inteligentnym systemie decyzyjnym*, [in:] Krawczyk H. (ed.), SKASKBOOK: Inteligentne Przestrzenie Usług Informacyjnych, 35–46, WETI PG, Gdańsk–Bytów.
 46. Nelson G., Saunders A., Neville N., Swilling B., Bondaryk J., Billings D., Lee C., Playter R., Raibert M., *PETMAN: A Humanoid Robot for Testing Chemical Protective Clothing*, "Journal of the Robotics Society of Japan"4/2012, 372–377.
 47. Ni L. G., Kari D. P., Muganza A., Dushime B., Zebaze A. N., *Wireless integration of tactile sensing on the hand of a humanoid robot NAO*, [in:] The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, IEEE, September, 2012, 982–988.
 48. Nanty A., Gelin R., *Fuzzy Controlled PAD Emotional State of a NAO Robot*, [in:] 2013 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, IEEE, December, 2013, 90–96.
 49. Kulk J., Welsh J. S., *Evaluation of walk optimisation techniques for the NAO robot*, [in:] 2011 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, IEEE, Bled, October, 2011, 306–311.
 50. Gouaillier D., Collette C., Kilner C., *Omni-directional closed-loop walk for NAO*, [in:] International Conference on Humanoid Robots, 2010, 448–454. ■

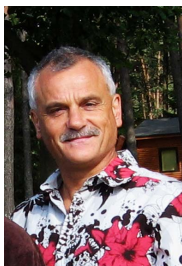
A review of humanoid robots

Abstract: In this article we present the most popular humanoid robots, highlighting their important characteristics and comparing basic characteristics desirable taking into account the cognitive aspects of development of robotics. Among the achievable features of different solutions for humanoid systems available on the market - we distinguish mainly the degree of freedom, a kind of drive and the ability to express *facial expressions*, as well as the expression of *emotions*.

Keywords: robots, humanoid features

prof. dr hab inż. Zdzisław Kowalczuk

Prof. zw. dr hab. inż. (2003, 1993, 1986, 1978). Od 1978 uczestniczy w życiu naukowym na wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki PG, gdzie jest profesorem zwyczajnym w dziedzinie Automatyki i Robotyki oraz szefem (założonej w 2006) roku Katedry Systemów Decyzyjnych i Robotyki. Wykładał na Uniwersytecie w Oulu (1985), Australijskim Uniwersytecie Narodowym (1987), Politechnice w Darmstadt



(1989) oraz na Uniwersytecie George'a Masona (1990-1991). Zajmuje się sterowaniem adaptacyjnym, identyfikacją systemów, detekcją błędów i diagnostyką przemysłową, przetwarzaniem sygnałów, sztuczną inteligencją oraz inżynierią sterowania i informatyką. Jako autor i współautor wydał 18 książek (w tym WNT 2002, oraz Springer 2004 i 2014, 2016), opracował ponad 100 artykułów oraz ponad 250 referatów konferencyjnych i rozdziałów. Wyróżniony w 1990 i 2003 Nagrodami Ministra Edukacji Narodowej (MENIS) oraz w 1999 Nagrodą Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej w zakresie sterowania. Prezes POLSPAR i wiceprezes Towarzystwa Konsultantów Polskich, redaktor wydawnictwa PWNT.

e-mail: kova@pg.gda.pl

mgr inż. Michał Czubenko

W 2009 roku uzyskał tytuł magistra inżyniera w katedrze Systemów Decyzyjnych na wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki z dziedziny Automatyki i Robotyki.



Od tego też roku rozpoczął dalszą edukację w katedrze Systemów Decyzyjnych i Robotyki, gdzie spełnia się jako nauczyciel akademicki, aktualnie kończąc przewód doktorski. W ramach działalności dydaktyczno-naukowej, obył praktykę w Kingston University of London oraz brał czynny udział w budowie Laboratorium Integracji Systemów Automatyki na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki. Interesuje się sztuczną inteligencją, robotyką, psychologią. W czasie wolnym chodzi po górach oraz żegluje.

e-mail: m.czubenko@gmail.com