

Przegląd robotów humanoidalnych

Zdzisław Kowalczyk, Michał Czubenko

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Systemów Decyzyjnych i Robotyki,
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

Streszczenie: W artykule przedstawiono przegląd najpopularniejszych robotów humanoidalnych, wyróżniając ich ważniejsze cechy i 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 liczbę stopni swobody, rodzaj zastosowanego układu lokomocji oraz możliwości wyrażania mimiki twarzy, jak również ekspresji emocji.

Słowa kluczowe: robot, cechy humanoidalne

1. Wprowadzenie

Od przeszło pół wieku obserwowany jest burzliwy rozwój automatyzacji a także robotyzacji. Coraz więcej urządzeń ma wbudowane systemy komputerowe, dzięki temu działają zgodnie z przygotowanym scenariuszem, a w sytuacjach krytycznych podejmują coraz bardziej złożone decyzje. Po robotach przemysłowych, które w znaczący sposób wyręczają ludzi w pracach powtarzalnych, żmudnych, wykonywanych w trudnych warunkach, rozwinęła się robotyka mobilna. Urządzenia mobilne znalazły zastosowanie w pracach policji, wojska, straży pożarnej, w sytuacjach kryzysowych – wszędzie tam, gdzie istnieje zagrożenie utraty życia lub zdrowia. Równolegle rozwija się gałąź robotyki ukierunkowana na rozrywkę. Robotyka weszła do szkół – roboty wspierają i uatrakcyjniają edukację, są też konstruowane przez dzieci. Wkrótce dzięki wyspecjalizowanym robotom, najprawdopodobniej wiele zawodów, takich jak np. strażak czy żołnierz, zasadniczo zmienić swój profil [1]. Wśród robotów stosowanych w medycynie wymienić należy ultradokładne roboty chirurgiczne (operujące z dużą większą precyzją niż człowiek), roboty wspierające rehabilitację, bądź opiekujące się ludźmi starszymi, dziećmi, osobami niepełnosprawnymi w ich codziennym życiu [2–4]. Postęp ten zachodzi wraz ze zwiększającą się autonomią konstruowanych robotów [5, 6]. W konsekwencji realizowane są rozmaite projekty autonomicznych pojazdów (typu samochód, samolot, statek), które mają wbudowane funkcje samodzielnego podejmowania decyzji, co w znacznym stopniu wpływa na sposób ich działania [7, 8].

Nowoczesne roboty charakteryzują się zróżnicowaną budową, uzależnioną od ich przeznaczenia. W każdym jednak przypadku dąży się do coraz większej autonomiczności. Można pokusić się o stwierdzenie, że jest to nowoczesna odmiana cybernetyki, albo

wiem celem większości rozwiązań stosowanych w robotyce jest naśladowanie przyrody ożywionej, a w szczególności sposobu myślenia oraz poruszania się i zachowania 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. Wielu młodych konstruktorów startuje ze swoimi robotami w ogólnodostępnych konkursach (np. *DARPA Robotics Challenge*). Roboty humanoidalne 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. Przy różnorodnych celach, uwzględniając rodzaj napędu, wyróżnić można kilka podstawowych typów robotów [9]:

- kołowe – realizujące proste zadania transportowe (np. tzw. *line follower*),
- gąsienicowe – mogące poruszać się w złożonym terenie, głównie naturalnym (służące do rozpoznania, lub do detonowania ładunków wybuchowych),
- kroczące – działające w trudnym środowisku zarówno industrialnym, jak i naturalnym (służące do różnorodnych celów),
- o napędzie hybrydowym.

W ostatnich latach można zaobserwować znaczący postęp w obszarze robotów kroczących, które umożliwiają nawet chodzenie po schodach. Tego rodzaju urządzenia kroczące z reguły mają kształty humanoidalne i dlatego też najbardziej swoją budową przypominają człowieka i jego sylwetkę. Roboty humanoidalne cieszą się dużą popularnością. Mają też coraz większe perspektywy – szczególnie w aspekcie kontaktu z człowiekiem.

2. Roboty humanoidalne

Wśród wielu zadań, związanych z odpowiednim zaprogramowaniem humanoida, wyróżnić można projekty, których pobocznym celem jest modelowanie zachowania człowieka. Motywacje takiego podejścia bywają różne, jednak większość tego typu

Autor korespondujący:

Michał Czubenko, m.czubenko@gmail.com

Artykuł recenzowany

nadesłany 15.04.2015 r., przyjęty do druku 8.10.2015 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Tabela 1. Zestawienie cech robotów humanoidalnych

Table 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	22	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	Koła	NIE	TAK	TAK
HRP-4	34	2	5	TAK	TAK	NIE	NIE
HRP-4C	44	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	Koła	Podnoszenie ludzi	NIE	NIE
S-One	N/A	TAK	3	TAK	Manipulacja	NIE	NIE
Simon	40	2	5	NIE	Chwytnie	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

projektów opiera się na przesłankach socjologicznych. Roboty przypominające w zachowaniu człowieka są postrzegane przez ludzi jako bardziej przyjazne i lepiej akceptowane w społeczeństwie [10]. Takie podejście jest stosowane również w przypadku autonomicznych samochodów, gdzie samochodom nadawane są cechy charakterystyczne dla ludzi (imię, płeć, etc.). Popularne staje się nadawanie wyglądu człowieka nawet prostym autonomicznym maszynom [11]. Z drugiej strony, istnieją motywacje psychologiczne, które prowadzą do uwzględniania i modelowania różnorodnych aspektów psychologii człowieka, wśród których wyróżnia się emocje, potrzeby oraz zaawansowane modele pamięci [12, 13]. Dąży się w ten sposób zarówno do 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, przez zagadnienia dotyczące planowania trajektorii ruchu robotów, manipulatorów, członów wykonawczych (aktu-

atorów), a kończąc na zaawansowanych strategiach behawioralnych. Poniżej prezentowane są najbardziej znane ze światowych wytworów występujących pod nazwą *robotów humanoidalnych*.

Dobrym przykładem ukazującym, jak bardzo się rozwinęła robotyka humanoidalna jest DARPA Robotics 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 pokonać trzy przeszkody terenowe o różnym stopniu skomplikowania, poczynając od niskiego 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 między dwiema ścianami – usunąć rozrzucone na drodze bale drewna, a następnie przejść między ścianami, aż do drzwi.

- 5) Drzwi: Robot powinien pokonać trzy rodzaje drzwi – pchane, ciągnięte oraz zamknięte za pomocą klamki.
- 6) Ściana: Za pomocą odpowiedniego narzędzia (sterowanego poprzez przełącznik lub spust), należy wyciąć w ścianie zadany kształt.
- 7) Zawór: Robot musi zamknąć trzy zawory różniące się konstrukcją – dźwignię, zawór kołowy duży, zawór kołowy mały.
- 8) Wąż: Robot ma za zadanie przeciągnąć wąż strażacki do zaworu z wodą i zamocować go na nim.

W dalszej części zostaną skrótowo omówione różnorodne roboty humanoidalne zbudowane zarówno w celach komercyjnych, jak i naukowych. Podstawowe cechy umożliwiające klasyfikację robotów humanoidalnych zostały zgromadzone w tabeli 1. Przegląd został opracowany w pierwszym kwartale 2015 r., a główną cechą łączącą analizowane roboty jest ich podobieństwo do człowieka (w wielu aspektach). Wobec olbrzymiej różnorodności rozwiązań, jako główny wyróżnik przyjęto zastosowany sposób lokomocji.

3. Roboty quasi-stacjonarne

W tej sekcji zostaną przedstawione roboty humanoidalne przytwierdzone do podłoża lub przenoszone, które nie mają możliwości samodzielnego poruszania się i zmiany miejsca położenia.

3.1. Affetto

Affetto jest japońskim robotem-dzieckiem, opracowanym w 2011 r. na Uniwersytecie w Osace. Ma bardzo realistyczny wygląd – przypomina dwulatka (również wielkością). Umożliwia wyrażanie emocji i robienie min za pomocą sztucznej twarzy. Jego wykonana z silikonu sztuczna skóra przypomina ludzką, a pneumatyczne silowniki pozwalają na dotyk i nacisk (w pewnym ograniczonym stopniu). Robot ten został zaprojektowany do badań nad rozwojem poznawczym dziecka i relacjami socjologicznymi między dzieckiem a dorosłymi [15, 16].

3.2. Baxter

Baxter jest para-humanoidalnym robotem produkcyjnym. Jego ramiona mają po 7 stopni swobody DoF (ang. *Degree of Freedom*). Wyposażony jest w system wizyjny, sonar oraz ekran, na którym mogą być wyświetlane emocje. Umożliwiają naukowcom prowadzenie badań interakcji między robotem a człowiekiem, sposobów manipulacji oraz zaawansowanych metod sterowania i percepcji. Aktualne prace badawcze związane z robotem Baxter dotyczą metod uczenia pod nadzorem [17].

3.3. Kismet

Kismet prezentuje co prawda tylko głowę robota, ale jest ona jedną z najstarszych konstrukcji robotycznych wyrażających emocje. Robot został opracowany i zbudowany w laboratoriach MIT pod koniec lat 90. poprzedniego stulecia. Kismet jest robotem umożliwiającym naturalną, międzyludzką komunikację, bazującą na języku ciała oraz różnego rodzaju elementach motywacyjnych człowieka (takich jak emocje). Robot wyposażony jest w zespół sensorów realizujących zmysły wizyjne, słuchowe oraz umiejętności proprioceptyczne. Kismet symuluje emocje poprzez różne wyrazy twarzy, odgłosów i ruchu. Mimika jest tworzona za pomocą ruchów uszu, brwi, powiek, ust, szczęki i głowy. Robot stosowany był w badaniach nad zachowaniami w trakcie interakcji z człowiekiem (HSI, ang. *Human System Interaction*), a przede wszystkim do doskonalenia mechanizmów procesu uczenia [18, 19].

3.4. Simon

Robot Simon został zaprojektowany przez zespół z Georgia Institute of Technology. Nie jest on jednak w pełni humanoidem, ma bowiem ciało tylko od pasa w górę. Nie przeszkadza to jednak w jego praktycznych zastosowaniach. Robot służy

do badań nad zagadnieniem uczenia maszynowego [20]. Uczenie Simona polega na identyfikowaniu i powtarzaniu zachowań ze środowiska, a także na interakcji z nauczycielem. Aby ułatwić interakcję, robot został wyposażony w serię elastycznych aktuatorów (silników o bardzo małej sztywności). Dzięki nim Simon swoimi robotycznymi dłońmi może, podobnie jak ludzie, ścisnąć w różnym stopniu (z różną siłą) przedmioty. 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 komunikacji (mówienia), a w szczególności rozpoznawać, kiedy w grze następuje jego tura/kolej [21, 22].

3.5. Telenoid

Telenoid jest bardzo nietypowym robotem (rys. 1). Został zaprojektowany przez Hiroshi Ishiguro – profesora Osaka University and Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR). Robot ma postać korpusu humanoidalnego z wyrażającą emocje głową. Jego jedynym celem jest efektywne wyrażanie cech, które spowodują, że użytkownik będzie miał wrażenie komunikacji z inną osobą. Telenoid jest sterowany zdalnie przez drugiego człowieka, którego obecność emuluje. Badania dowiodły, że jego skuteczność w wyrażaniu drugiej osoby pomaga (z socjologicznego punktu widzenia) zarówno osobom starszym, jak i dzieciom [23]. Ze względu na określone zastosowania, robot ma jedynie 9 stopni swobody, masę 3 kg i zbudowany jest z materiału doskonale symulującego ludzką skórę. Badanie prowadzone za pomocą robota Telenoid mają na celu doskonalenie sterowania robotem, aby jego ruchy sprawiały wrażenie całkowicie naturalnych [24, 25].



Rys. 1. Telenoid, Osaka University oraz Advanced Telecommunications Research

Fig. 1. Telenoid, Osaka University and Advanced Telecommunications Research

4. Roboty kołowe

W tej sekcji zostaną przedstawione roboty o kołowym układzie lokomocji. Funkcjonalność polegająca na przemieszczaniu się robota znacznie zwiększa jego autonomię. Zastosowanie napędu kołowego jest jednak źródłem wielu ograniczeń. Roboty takie nie mogą pokonywać przeszkód pionowych ani przemieszczać się po schodach.

4.1. RoNASerBot

RoNA (Robotic Nursing Assistant System) to seria robotów para-humanoidalnych (rys. 2) stworzonych przez konstruktorów Hstar Technologies Corporation. Służą one zapewnianiu opieki (nie tylko medycznej) osobom starszym. Robot serwisowy SerBot serii RoNA realizuje różne zadania opieki osób starszych, potrafi przenosić ciężkie przedmioty, reagować na polecenia, a nawet przewieźć osobę, którą się opiekuje, na inne miejsce. Docelowo robot RoNA ma mieć 23 stopnie swobody oraz duży udźwig (rzędu masy dorosłej osoby). Głównym celem robota jest niesienie pomocy, podnoszenie osób, które nie mogą wstać, czy przenoszenie ich do łóżka lub wanny. Robot wyposażony jest dodatkowo w system bezpośredniej telekomunikacji z lekarzem [26].

4.2. EMIEW 2

EMIEW 2 jest robotem produkowanym przez firmę Hitachi, przeznaczonym do poruszania się w środowisku biurowym – w szczególności do podążania za człowiekiem. Pełni on rolę biurowego asystenta, który potrafi się poruszać z prędkością 6 km/h. Aby zapewnić sprawność i bezpieczeństwo w środowisku biurowym, EMIEW 2 ma wysokość 80 cm i masę 14 kg. Ze względu na założone 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 ma także radar laserowy umożliwiający mapowanie przestrzeni dookoła niego. Jego dość oszpecone zaprojektowane nogi pozwalają na trzy tryby pracy [29]:

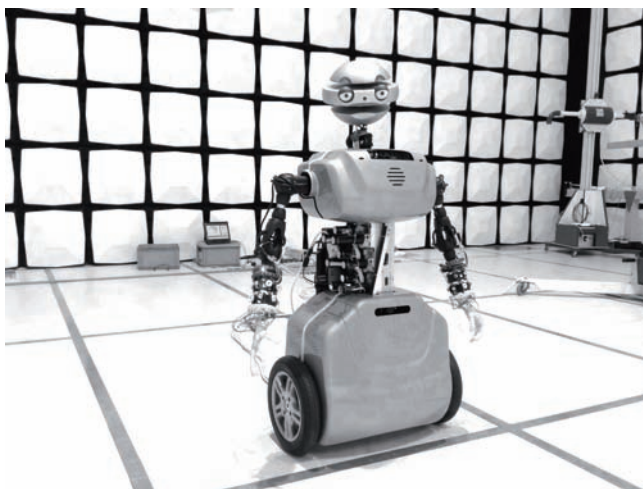


Rys. 2. RoNA, Hstar Technologies Corporation
Fig. 2. RoNA, Hstar Technologies Corporation

- odwróconego wahadła (postać wyprostowana), dzięki czemu może rozwijać dużą prędkość,
- lekkiego przykucnięcia (hamulec w postaci *szponu*), przygotowanie do przejścia między trybami,
- postaci kłęczącej, charakteryzującej się dużą stabilnością (lecz zmniejszoną prędkością).

4.3. FLASH

Robotem humanoidalnym rodzimej produkcji jest FLASH (rys. 3). Robot FLASH (Flexible Lirec Autonomous Social Helper) został opracowany w ramach projektu LIREC, finansowanego przez Unię Europejską z 7. Programu Ramowego, w Zakładzie Podstaw Cybernetyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej. Robot ma pełnić rolę towarzysza życia – robota spo-



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

lęcznego zdolnego do operowania w środowisku człowieka oraz nawiązywania interakcji z człowiekiem w sposób dla niego naturalny. Stara się on emulować wygląd i zachowanie człowieka (pod pewnymi względami), a zwłaszcza inteligencję emocjonalną wyrażaną przez mimikę twarzy [30]. Jest on jednak zupełnie niepodobny do robota Kismet, którego twarz składa się z osobnych modułów ust, oczu itp. FLASH składa się z głowy umożliwiającej okazywanie emocji EMYS (ang. *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 postrzeganym.

5. Roboty kroczące

5.1. Roboty AcYut

AcYut (w sanskrycie *Ten*, który nie upada lub *niezniszczalny*) to seria robotów humanoidalnych rozwijanych przez konstruktorów Centre for Robotics & Intelligent Systems przy Birla Institute of Technology & Science, Pilani. Robot ten ma 28 stopni swobody, potrafi się poruszać na dwóch nogach, a zainstalowana kamera Firefly MV oraz Inertial Measurement Unit umożliwia mu odbieranie bodźców. Zastosowany tu inercyjny zestaw pomiarowy o 6 stopniach swobody jest urządzeniem, które służy do pomiaru prędkości, orientacji i siły grawitacyjnej działającej na robota, wykorzystując kombinację akcelerometrów i żyroskopów. Jest to analogiczne do narządów ludzkich zmysłów, które pomagają dostrzegać zmiany w otaczającym nas środowisku. Jego przeznaczeniem jest badanie sposobów sterowania zaawansowanymi robotami kroczącymi, oraz poszukiwanie technologii teleoperacji [32].



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

5.2. ASIMO

ASIMO (ang. *Advanced Step in Innovative Mobility*) (rys. 4) to seria robotów wyprodukowanych przez Honda Motor Company. Celem producenta jest stworzenie robota, który będzie pomocny w codziennym życiu człowieka. Tak sformułowany cel jest paradygmatem robotyki socjalnej [33]. ASIMO ma około 120 cm wzrostu, masę 63 kg i jest jednym z pierwszych robotów humanoidalnych. ASIMO ma 34 stopnie swobody, 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].

5.3. CHARLI

CHARLI (ang. *Cognitive Humanoid Autonomous Robot with Learning Intelligence*) jest pierwszym – prawdziwym ze względu na wygląd – robotem humanoidalnym skonstruowanym w Stanach Zjednoczonych. Został zaprojektowany i zbudowany przez studentów Virginia Tech University. CHARLIE jest ciągle rozbudowywany, głównie pod względem konstrukcji mechanicznej. Robot ma 25 stopni swobody, a mimo to ma masę tylko 12,4 kg – jego konstrukcja i serwomechanizmy 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 bierze udział w konkursach robo-piłki, może chodzić z prędkością 1,4 km/h, a nawet tańczyć [37, 38].

5.4. HRP

HRP (ang. Humanoid Robot Prototype) opisuje serię robotów konstruowanych od 1999 r. w firmie Kawada Industries we współpracy z National Institute of Advanced Industrial Science



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

and Technology. Aktualna wersja to HRP-4. Roboty HRP zostały stworzone do współpracy z ludźmi. Rozwój robotów HRP został podyktowany potrzebą lepszego dopasowania do warunków pracy, zarówno od strony mechanicznej (zwiększenie liczby stopni swobody, zmniejszenie masy itp.), jak i ściśle systemowej (platforma elektroniczna, projektowanie systemów percepcji i interakcji itp.). Robot ma udźwig 0,5 kg, 34 stopnie swobody, masę 39 kg. Jego płyta główna wyposażona jest w procesor Pentium M. Robot funkcjonuje pod kontrolą systemu operacyjnego typu Linux i innych narzędzi opartych na technologii czasu rzeczywistego [39].

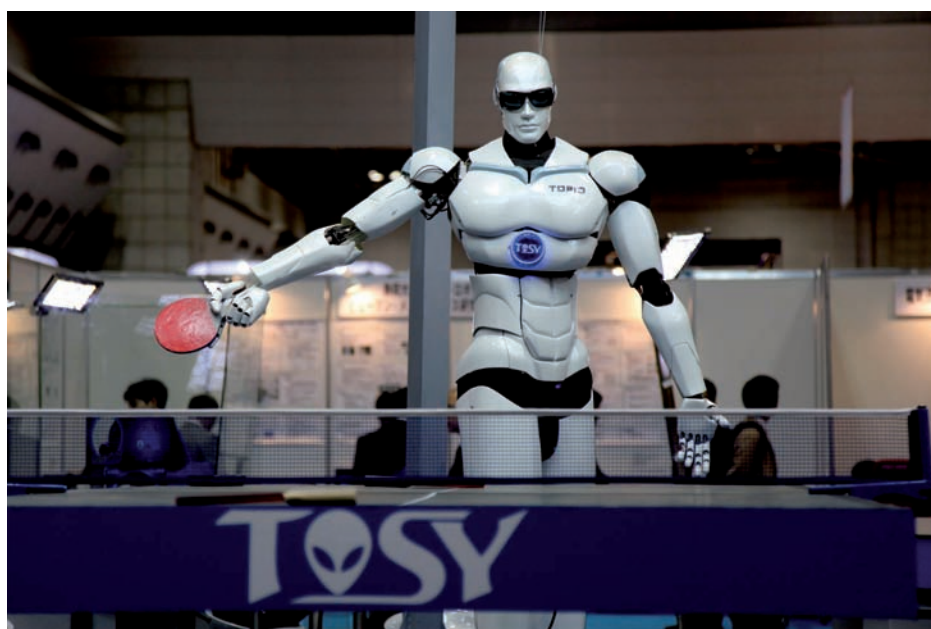
HRP-4C jest nietypowym robotem z serii HRP – ma kształt kobiecego androida. Potrafi poruszać się w sposób przypominający człowieka, mówić, a nawet śpiewać. Jego masa jest również zbliżona do masy młodej kobiety (43 kg). Cechą charakterystyczną tego androida są możliwości mimiczne (podobnie jak robota Affectto). Twarz HRP-4C ma 8 stopni swobody [40].

5.5. Kobian

Robot Kobian (rys. 5) został opracowany w WASEDA University w Tokyo [41] na podstawie wcześniejszych prototypów. Jego podstawowym przeznaczeniem jest interakcja z ludźmi i pomoc w codziennych pracach. Robot ma aż 68 stopni swobody, z czego 24 są przeznaczone na mimikę. Dzięki specjalnie skonstruowanej twarzy robot może wyrazić 7 podstawowych emocji o różnym natężeniu [42]. Aktualne prace badawczo-rozwojowe dotyczą różnic kulturowych w postrzeganiu emocji oraz możliwości ich ekspresji nie tylko za pomocą mimiki [43]. Robot Kobian jest wyposażony w dwie kamery umożliwiające analizę środowiska z wykorzystaniem stereowizji [44]. Dzięki temu robot lepiej orientuje się i porusza w środowisku. Możliwości ekspresyjne robota znalazły uznanie w społeczeństwie japońskim, gdzie został on okrzyknięty pierwszym robotem-komikiem.



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



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

5.6. ASRA C1

Robotem, który również potrafi odpowiednio dozować siłę nacisku, jest ASRA C1 (rys. 6). Stworzony przez firmę Asratec robot jest sterowany za pomocą systemu V-SIDO, który pozwala na kierowanie nim za pomocą telefonu komórkowego, okularów (koncepcja sterowania przez wzrok – tzw. *Corpus Iudicium* [45]), elementów typu joystick, a także w klasycznym trybie kopowania ruchów. Robot ten ma 35 stopni swobody, akcelerometr, żyroskop, sensory magnetyczne, kamerę oraz kamerę Kinect, które umożliwiają mu rozpoznawanie ruchów ludzi podczas interakcji. Ciekawostką jest to, że robot ma ukryte dodatkowe kończyny górne (pomocne przy przenoszeniu obiektów, ale niestety sterowane ręcznie przez operatora).

5.7. Valkyrie

Walkiria (ang. Valkyrie) 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 przez zastosowanie dużej liczby sensorów oraz nowoczesnych technologii. Robot Walkiria jest konstruowany w NASA Johnson Space Center. Robot ma wysokość 188 cm, masę ponad 130 kg i 44 stopnie swobody. Podstawowym przeznaczeniem robota jest wykonywanie pracy autonomicznego robonauty. Projekt ten został jednak zrealizowany głównie dla udziału w zawodach DARPA. Jest to jeden z wielu robotów humanoidalnych, które są zdolne do zaawansowanych zachowań, w szczególności autonomicznych. Robot Walkiria jest zasilany z akumulatorów, które nosi na sobie (wystarczają one na około godzinę pracy robota). Potrafi reagować z dużym wyczuciem siły, a w szczególności otwierać drzwi. Robot został wyposażony w trzy systemy LIDAR (ang. *Light Detection and Ranging*), 4 kamery HD, 6 kamer głębi (ang. *depth camera*) oraz niezliczoną liczbę innych sensorów. Pomimo zaawansowanego wyposażenia robota oraz potężnego zespołu rozwijającego oprogramowanie, robot Walkiria nie wypadł dobrze w zawodach DARPA. Tym niemniej konstruktorzy NASA dążą do takiego rozwoju projektu robota humanoidalnego, aby Walkiria mogła całkowicie samodzielnie badać odległe planety.

5.8. TOPIO

TOPIO (rys. 7) jest robotem-zabawką przewyższającym wielkością 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, jednak ma ludzkie dłonie, przez co liczba stopni swobody wynosi 39: 7 – na każde ramię (tyłe, co człowiek), 6 – każda noga, 5 – każda dłoń, 1 – głowa. Oprzyrządowanie robota TOPIO stanowią cztery kamery, dzięki którym może rozpoznać i wyznaczyć trajektorię nadlatującej piłeczki. Do tego celu potrzebuje aż dwóch jednostek obliczeniowych. Prowadząc grę, TOPIO potrafi wymienić piłeczkę nawet 10 razy.

5.9. S-One

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

5.10. PETMAN

Przyglądając się różnego rodzaju robotom humanoidalnym, warto zwrócić uwagę na rozwiązania, które *de facto* odwzorowują pożądaną sylwetkę lub reakcję humanoida. Robotem, który zachowuje zarówno kształt, jak i dynamikę ruchów człowieka, jest PETMAN (ang. *Protection Ensemble test Mannequin*). Celem tego projektu jest testowanie ubiorów ochronnych stosowanych w Armii Stanów Zjednoczonych, 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

oddziaływania biologicznego człowieka poddanego wysiłkowi fizycznemu (wilgotność, odczyn Ph, temperaturę itp.). Robot ten, dzięki specjalistom z DARPA Robotics, potrafi poruszać się dynamicznie, robić skłony, przysiady, biegać na bieżni oraz wchodzić po schodach [46]. Jednak, jak większość humanoidów, wymaga jeszcze zewnętrznego sterowania przez operatora.

5.11. NAO

Robotem produkowanym seryjnie, choć głównie dla celów edukacyjnych, jest NAO (rys. 8). Dzięki małym rozmiarom doskonale sprawuje się przy nauce programowania robotów. NAO jest wyposażony w dwie kamery, cztery 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 zaawansowanych (realizujących sztuczną inteligencję). NAO ma 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 uczestniczy także w projektach dotyczących terapii dzieci cierpiących na autyzm [3]. Drobna modyfikację robota NAO stanowi NAO Torso, który działa analogicznie, jednak bez możliwości mobilnych.



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

6. Podsumowanie

Przedstawiony przegląd przykładowych robotów nie wyczerpuje długiej listy dostępnych aktualnie sztucznych humanoidów. Istnieje ich dużo więcej. Wyraźny jest trend obserwowany w badaniach naukowych polegający na rozwijaniu złożonych twórców (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 ciąglemu i dynamicznemu rozwojowi nowych technologii, roboty stają się coraz bardziej popularne. Występują one jako automaty w zastosowaniach przemysłowych, jak i innego rodzaju rozwiązania – roboty humanoidalne stosowane do użytku biurowego i domowego. Można oszacować, że w najbliższej dekadzie liczba takich urządzeń – stosowanych w gospodarstwach domowych – znacznie wzrośnie. Roboty już potrafią sprzątać, gotować, a nawet – w znacznym stopniu – opiekować się starszymi ludźmi.

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

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

1. Breland S., McKinney D., Parry D., Peachey C., *NRL Designs Robot for Shipboard Firefighting*, Naval Research Laboratory, "SPECTRA", 2012, 8–10.
2. Boucenna S., Narzisi A., Tilmont E., Muratori F., Pioggia G., Cohen D., Chetouani M., *Interactive Technologies for Autistic Children: A Review*, "Cognitive Computation", Vol. 6, 4/2014, 722–740.
3. Shamsuddin S., Yusoff H., Ismail L.I., Mohamed S., Hanapih F.A., Zahari N.I., *Initial Response in HRIa Case Study on Evaluation of Child with Autism Spectrum Disorders Interacting with a Humanoid Robot NAO*, "Procedia Engineering", 41/2012, 1448–1455.
4. Broadbent E., Stafford R., MacDonald B., *Acceptance of Healthcare Robots for the Older Population: Review and Future Directions*, "International Journal of Social Robotics", Vol. 1, 4/2009, 319–330, DOI: 10.1007/s12369-009-0030-6.
5. Saunders R., *Towards Autonomous Creative Systems: A Computational Approach*, "Cognitive Computation" 3/2012, 216–225. DOI: 10.1007/s12559-012-9131-x.
6. Magill K., Erden Y.J., *Autonomy and Desire in Machines and Cognitive Agent Systems*, "Cognitive Computation", Vol. 4, 3/2012, 354–364, DOI: 10.1007/s12559-012-9140-9.
7. 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, DOI: 10.1109/INDIN.2011.6034840.
8. Czubenko M., Ordys A., Kowalczyk Z., *Autonomous driver based on intelligent system of decision-making*, "Cognitive Computation", Vol. 7, 5/2015, 569–581 DOI: 10.1007/s12559-015-9320-5.
9. Rodriguez Á.G.G., Rodriguez A.G., *Mobile Robots*, [in:] Rodriguez N.E.N. (ed.), *Advanced Mechanics in Robotic Systems*, 41–57, Springer, London 2011.
10. 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, DOI: 10.1142/S0219843604000289.
11. Waytz A., Heafner J., Epley N., *The mind in the machine: Anthropomorphism increases trust in an autonomous vehicle*, "Journal of Experimental Social Psychology" 52/2014, 113–117, DOI: 10.1016/j.jesp.2014.01.005.
12. Kowalczyk Z., Czubenko M., *xEmotion – obliczeniowy model emocji dedykowany dla inteligentnych systemów decyzyjnych*, "Pomiary Automatyka Robotyka" 17/2013, 60–65.
13. Kowalczyk Z., Czubenko M., *Intelligent Decision-Making System for Autonomous Robots*, "International Journal of Applied Mathematics and Computer Science" 4/2011, 621–635, DOI: 10.2478/v10006-011-0053-7.
14. Kowalczyk Z., Czubenko M., *Interpretation and modeling of an Emotions System for the Perspective Used in Scheduling Variable Control of Autonomous Agent Systems*, "Frontiers in Robotics and AI – Computational Intelligence", 2016, submitted for publication.
15. 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.

16. 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.
17. Daniel B., Korondi P., Thomessen 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, DOI: 10.1109/IECON.2013.6700441.
18. 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.
19. Breazeal C., *Robot in Society: Friend or Appliance?*, [in:] Agents99 workshop on emotion-based agent architectures, Seattle, WA, 1999, 18–26.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Yamazaki R., Nishio S., Ogawa K., Ishiguro H., *Teleoperated android as an embodied communication medium: A case study with demented elderly in a care facility*, [in:] IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, IEEE, September, 2012, 1066–1071, DOI: 10.1109/ROMAN.2012.6343890.
24. 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.
25. 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, DOI: 10.1109/IROS.2012.6385795.
26. 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, DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980213.
27. 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, DOI: 10.1109/ICASSP.2009.4960428.
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, DOI: 10.1109/IROS.2006.282596.
30. Kędzierski J., Kaczmarek P., Dziergwa M., Tchoń K., *Design for a Robotic Companion*, "International Journal of Humanoid Robotics" 2/2015, 1550007–1550031, 10.1142/S0219843615500073.
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, DOI: 10.1007/s12369-013-0183-1.
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, DOI: 10.1109/iccsp.2013.6577056.
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, DOI: 10.1109/ROBOT.2009.5152404.
36. Bogue R., *Brain-computer interfaces: control by thought*, "Industrial Robot: An International Journal" 2/2010, 126–132, DOI: 10.1108/01439911011018894.
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, DOI: 10.1109/IROS.2011.6094465.
40. Kaneko K., Kanehiro F., Morisawa M., Miura K., Nakao S., Kajita S., *Cybernetic human HRP-4C*, [in:] 2009 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, IEEE, December, 2009, 7–14, DOI: 10.1007/978-3-642-19457-3_18.
41. Endo N., Takamishi A., *Development of Whole-Body Emotional Expression Humanoid Robot for ADLAssistive RT Services*, "Journal of Robotics and Mechatronics" 6/2011, 969–977.
42. Zecca M., Macri G., Mizoguchi Y., Monaco V., Endo N., Itoh K., Dario P., Takamishi 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, Vol. 524, 449–456, Springer Vienna, Vienna, DOI: 10.1007/978-3-7091-0277-0_53.
43. Trovato G., Zecca M., Sessa S., Jamone L., Ham J., Hashimoto K., Takamishi A., *Towards culture-specific robot customisation: A study on greeting interaction with Egyptians*, [in:] 2013 IEEE RO-MAN, IEEE, August, 2013, 447–452, DOI: 10.1109/ROMAN.2013.6628520.
44. Kowalczyk Z., Merta T., *Stereo image visualization for VIS-ROBOT system*, [in:] 18th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Miedzyzdroje, 2013, 794–799, DOI: 10.1109/MMAR.2013.6670014.
45. Kowalczyk Z., *Reaktywny system oddziaływania ze środowiskiem opartym na inteligentnym systemie decyzyjnym*, [in:] Krawczyk H. (ed.), SKASKBOOK: Inteligentne

- Przestrzenie Usług Informacyjnych, 2009, 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, DOI: 10.7210/jrsj.30.372.
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, DOI: 10.1109/ROMAN.2012.6343877.
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, DOI: 10.1109/TAAI.2013.30.
49. Kulk J., Welsh J.S., *Evaluation of walk optimisation techniques for the NAO robot*, [in:] 2011 11th IEEE/RSJ International Conference on Humanoid Robots, IEEE, Bled, October, 2011, 306–311, DOI: 10.1109/Humanoids.2011.6100827.
50. Gouaillier D., Collette C., Kilner C., *Omni-directional closed-loop walk for NAO*, [in:] International Conference on Humanoid Robots, 2010, 448–454, DOI: 10.1109/ICHR.2010.5686291.

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, the 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 Kowalczyk

kova@pg.gda.pl

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 Automatyka i Robotyka oraz szefem (założonej w 2006 r.) Katedry Systemów Decyzyjnych i Robotyki. Składał wizyty naukowe i wykładał na Uniwersytecie w Oulu (1985), Australijskim Uniwersytecie Narodowym (1987), Politechnice w Darmstadt (1989) oraz na Uniwersytecie George'a Mansona (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 16 książek (w tym WNT 2002, oraz Springer 2004 i 2014), opracował około 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.



mgr inż. Michał Czubenko

m.czubenko@gmail.com

W 2009 roku uzyskał tytuł magistra inżyniera w katedrze Systemów Decyzyjnych na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki z dziedziny Automatyka i Robotyka. 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 odbył 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.

