

# *Bioboty*

„Prawdopodobnie w ciągu pięćdziesięciu do stu lat wyłoni się nowa klasa organizmów. Organizmy te będą sztuczne w takim sensie, że będą zaprojektowane i stworzone przez człowieka. Jednakże będą potrafiły się rozmnażać, a poprzez ewolucję rozwiną się do postaci, która będzie się znacznie różniła od ich pierwowzoru; będą „żywe”, jeśli weźmiemy pod uwagę jakąkolwiek znaną definicję życia... Nadejście sztucznego życia będzie najbardziej znaczącym wydarzeniem historycznym od pojawienia się człowieka na ziemi.”

*James Doyne Farmer*

<http://www.biotaq.org/ostman/alif6wk1.htm>

Przez ostatnich kilka lat biolodzy i naukowcy zajmujący się komputerami zajęli się odkrywaniem związków pomiędzy tymi dwiema dziedzinami nauki. Skupili się oni na tym, by poznając lepiej zasady funkcjonowania żywego organizmu móc stworzyć maszynę, która potrafi przetwarzać informacje w podobny sposób do tego, jakiego używają zwierzęta czy ludzie. Przyczyną tego jest fakt świadczący o tym, że umiejętność przesyłania sygnałów pomiędzy neuronami u organizmów żywych jest nieporównywalnie większa niż moc obliczeniowa dzisiejszych komputerów osobistych. Naukowcy uważają, że stworzenie komputerów inspirowanych biologicznie może poprowadzić do powstania komputerów, które będą potrafiły przystosowywać się do zmieniających się warunków i będą odporne na awarie części, z jakich się składają.

Biobot to robot, który zachowuje się jak organizm żywy (zwierzę). Potrafi chodzić i biegać, niektóre używają sztucznych mięśni z czujnikami rozciągania zamiast ciężkich silniczków i koderów położenia, które są zwykle montowane w tradycyjnych robotach. Tak zwana technologia inspirowana biologicznie jest użyta do wolnego od schematów inteligentnego sterowania biobotem i ma umożliwiać jego uczenie się. Fizyczna budowa biobota może przypominać np. owada, inne zwierzę lub człowieka. Biobot posiada zaimplementowaną sieć neuronową, która działa w sposób odpowiedni dla organizmów żywych, przez co potrafi naśladować zwierzęce zachowanie, właściwie „myśli”, że jest zwierzęciem. Dzieje się tak dlatego, że dana sieć neuronowa jest kopią sieci neuronowej zwierzęcia, jest to próba reprodukcji wzoru przesyłania sygnałów zauważonego u istot żywych.

Można powiedzieć również, że bioboty są dowodem na to, że biolodzy za bardzo angażują się w badanie zachowań zwierząt w poszukiwaniu informacji na ich temat, podczas gdy okazuje się, że życie tych zwierząt jest znacznie prostsze niż im się wydaje. Przez dekady tworzono teorie mówiące o tym, że określone zachowanie jest związane z aktywnością odpowiednich komórek mózgowych żywego organizmu. Z drugiej strony obserwując zachowanie i rejestrując zmiany w mózgu naukowcy zorientowali się, że ogromnie trudno jest udowodnić związek między tymi dwoma zjawiskami. Natomiast kluczem do prawidłowej konstrukcji biobota jest bardzo dobre rozumienie działania naturalnego i sztucznego systemu nerwowego. Biobot to naśladowanie, używając metalu i krzemu, ścieżek łączących narządy zmysłów (sztuczne odpowiedniki oka i ucha) z mięśniami (silniczki). Zachowuje się tak jak mu poddyktuje jego sztuczna sieć neuronowa – garść procesorów matematycznych i węzłów, które są połączone tak, by naśladować działanie komórek nerwowych w mózgu.

Do trenowania biobotów używa się algorytmów genetycznych. Na przykład, jeśli chcemy nauczyć biobota, aby potrafił odnajdywać pożywienie w zadanym środowisku należy przeprowadzić wiele prób, w których testujemy różne wartości wag na wejściach neuronów oraz wartości aktywujące neurony. Algorytm genetyczny traktuje te wartości jak geny, które są przekazywane z pokolenia na pokolenie. Tworzy dziesiątki różnych, potencjalnych biobotów nadając im losowe geny – wagi i wartości aktywujące neurony, następnie testuje każdego z osobna, by sprawdzić jak dobrze sobie radzą z odnajdywaniem drogi. Wtedy wybiera najlepsze z nich i pozwala im się „rozmnażać” przez wymianę genów z innymi biobotami, które wypadły najlepiej. Nowa generacja maszyn jest testowana ponownie. Dzięki wielu cyklom proces ten pozwala na wyłonienie tego najlepszego biobota, który będzie efektem rozwoju wielu generacji.

Modelowanie biobotów szybko staje się wartościowym narzędziem dla biologów. Testują oni na nich teorie i tworzą nowe, przez co bioboty będą coraz bardziej popularne, ponieważ w badaniach organizmów żywych znacznie więcej czasu zabiera ustalenie za co odpowiada dany neuron niż jego zbudowanie.

### ***Ruchy biobotów***

Kluczowym tematem w dziedzinie robotyki i sztucznej inteligencji jest problem osiągnięcia w miarę naturalnego i elastycznego poruszania się, tudzież zachowania systemu stworzonego

przez człowieka, jakim jest np. chodzący robot. Pomimo tego, że zbudowano już wiele robotów chodzących, sterowanie nimi w różnych warunkach jest wciąż trudne. Roboty chodzące obecnej generacji potrafią, co prawda radzić sobie z przeszkodami na drodze, ale nie poruszają się z łatwością po wyboistym i trudnym terenie oraz nie umieją wstać, gdy się wywróć.

Ponieważ wiele insektów wykazuje dużą zdolność do szybkiego poruszania się w różnych warunkach, niektóre roboty zaprojektowano na ten wzór, tzn. nadając ich strukturze główne cechy budowy insektów z nadzieją, że elastyczność i wydajność poruszania się zauważona u tych stworzeń będzie miała swoje odzwierciedlenie w efekcie końcowym. Insekty są znakomitym modelem, ponieważ ich fizjologia jest względnie prosta, a sposób poruszania z natury stabilny. Ponadto stawy insektów oraz struktura ich kończyn jest tak łatwa do określenia, że daje się bez trudu zamodelować, a następnie zbudować używając metalowych drutów i innych, podobnych części.

Mimo intuicyjnego charakteru tego podejścia, zaprojektowanie odpowiedniego systemu sterowania dla tych robotów okazuje się bardzo trudne. Tradycyjne metody użyte przez inżynierów nie dały zadowalających wyników ze względu na dużą liczbę sygnałów przesyłanych w takich robotach oraz użytą skomplikowaną nieliniowość. Ostatnio proponowanym wyjściem było zastosowanie modelu równoległego sterowania rozproszonego, które zakończyło się pewnym sukcesem.

Pomijając teoretyczne problemy dotyczące sterowania istnieją również praktyczne utrudnienia towarzyszące tworzeniu tzw. kontrolerów robotów biologicznie inspirowanych. Jednym z takich utrudnień jest potrzeba podłączenia fizycznego robota do systemu sterowania, który właśnie jest tworzony. W miarę jak robot i kod programu sterującego stają się coraz bardziej skomplikowane, jego konstrukcja, interfejs z robotem i utrzymywanie mogą pochłaniać wiele czasu. Nawet jeśli odpowiedni robot jest dostępny, ograniczenia sprzętowe i wąskie gardła komunikacyjne mogą utrudnić tworzenie kodu. Innym utrudnieniem są algorytmy sterowania, które muszą być wykonywane w czasie rzeczywistym przez cały cykl tworzenia.

Aby ułatwić naukowcom projektowanie systemów sterowania biobotami, używa się Symulatorów Testujących dla Biologicznie Inspirowanych Robotów. Są to programy symulujące zachowanie się biobota o zadanych parametrach, mającego daną strukturę. Biobot w takim symulatorze znajduje się w określonym środowisku i jest poddawany różnym siłom zewnętrznym. Istnieje możliwość zmiany specyficznych parametrów w czasie trwania

symulacji. Symulator pokazuje w każdej chwili jak wyglądają kierunki i zwroty sił przy kontakcie biobota z ziemią.

Symulatory zawsze były wartościowym narzędziem przydatnym do projektowania systemów sterowania robotami. Pozwalają na badanie stabilności algorytmów oraz testowanie, które gdyby było przeprowadzone na rzeczywistym robocie mogłoby go uszkodzić fizycznie lub zranić człowieka-operatora.

### ***Podsumowanie***

Kupno komputera prawie zawsze gwarantuje jedną rzecz;- otóż jak tylko wyjmemy go z pudełka, nowszy, szybszy model pojawia się natychmiast na rynku. Naukowcy stoją teraz na progu technologicznego przełomu. Rozpóściera się przed nimi wizja „mądrzejszego” komputera dzięki... dżdżownicy. Dr Shawn Lockery z University of Oregon stworzył robota, który myśli, żyje i szuka pożywienia w sposób, w jaki robi to zwykła dżdżownica. Dr Lockery twierdzi, że poprzez studiowanie mapy mózgu dżdżownicy (lub ostatecznie innych zwierząt) możemy odkryć wiele sekretów natury oraz będziemy w stanie zbudować superkomputery, które będą zużywały bardzo mało mocy. Kieruje się on faktem mówiącym, że moc obliczeniowa zawarta w mózgu dżdżownicy jest tysiąc razy większa niż moc obliczeniowa procesora Intel® Pentium™ II.

Od początku istnienia komputery rozwiązywały matematyczne zagadnienia, wykonywały po kolei instrukcje. Używając biobotów będziemy w stanie stworzyć komputery, które wyciągają wnioski, oceniają i odpowiadają na pytanie dlaczego i o czym myślimy. Dr Lockery mówi: „Oprócz odpowiedzi na to stare jak świat pytanie będą potrafiły wyleczyć nas z choroby umysłowej.”

Dużo czasu minie zanim otrzymamy odpowiedzi na te pytania, lecz tymczasem rzucając okiem na mózg człowieka, może znajdziemy gdzieś połączenie, które pomoże nam przenieść ideę doktora Lockery w 21 wiek.

Mózg dżdżownicy ma 302 neurony, nasz ma miliard. Dr Lockery uważa, że pierwszą i najważniejszą przeszkodą jest dokładne zrozumienie jak działa ludzki mózg. Jakkolwiek dużo byśmy na ten temat wiedzieli, dr Lockery twierdzi, że do 2025 roku będzie to wystarczająca ilość informacji, aby stworzyć bioboty, które będą potrafiły wykonywać zadania, jakich człowiek nie może wykonać, np. usuwanie odpadów atomowych.

## ***Źródła***

<http://www.biota.org/ostman/alif6wk1.htm>

<http://www.psychology.nottigham.ac.uk/staff/bhw/aaai.html>

<http://delcomyn2.life.uiuc.edu/~reichler/mypages/excursions/c.../configpp.htm>

<http://www.iiscorp.com/projects/biobot/>

<http://xarch.tu-graz.ac.at/home/mtopper/test5.htm>

<http://art.berkeley.edu/art160/atcf99/atc-syllabusf99.html>

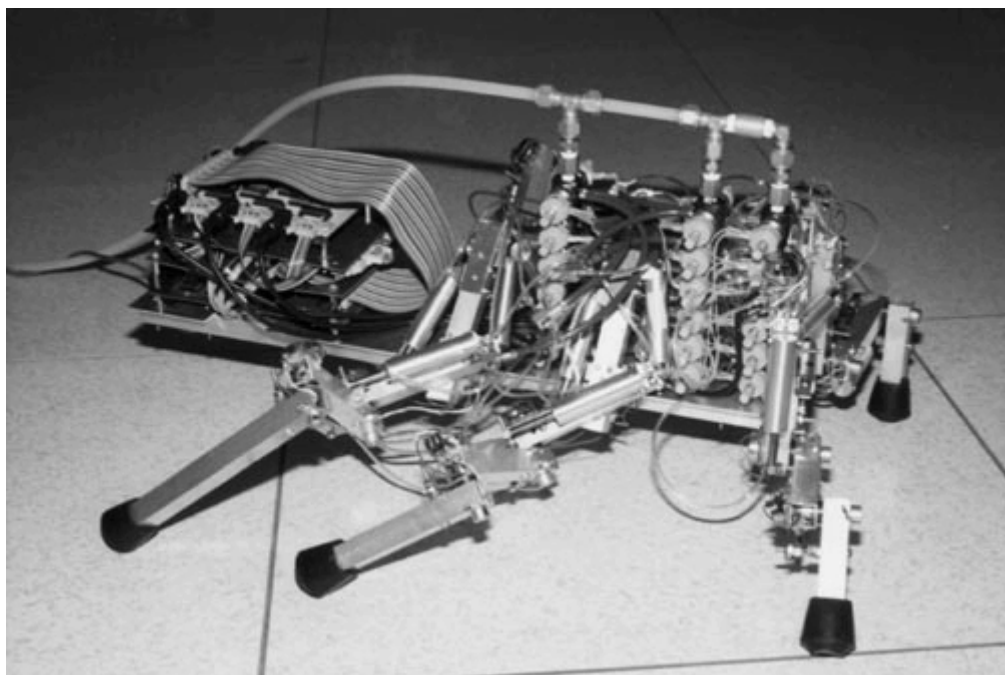
<http://www.newscientist.com/ns/981205/biobots.html>

## ***Przykłady implementacji biobotów***

Obecnie jesteśmy w fazie eksploracji i poznawania przestrzeni zagadnień związanych z zastosowaniem biobotów. Już wiadomo jednak, że będą one służyły człowiekowi w wielu dziedzinach życia. Pierwszym przykładem, jaki nasuwa się na myśl są sytuacje, w których istnieje potrzeba wykonania skomplikowanej czynności w miejscu niedostępnym dla człowieka. Innym przypadkiem może być sytuacja, gdzie występuje zagrożenie życia. Okazuje się jednak, że istnieją dwie strony tego medalu. Otóż fakt, że naukowcy posiadli umiejętność odtworzenia skomplikowanych zjawisk, jakie zachodzą między neuronami laboratoryjnego szczura, konika polnego czy mrówki, przy pomocy prosto połączonych elementów elektronicznych nie cieszy wszystkich. Ta technologia, mimo, że bardzo interesująca, może się spotkać z niechcianymi reperkusjami wśród aktywistów ochrony zwierząt lub podobnych organizacji. Bioboty będą stawały się coraz bardziej skomplikowane aż osiągną punkt, w którym będą się zachowywały jak ich żywe odpowiedniki. Wtedy niektórzy mogą stwierdzić, że naukowcy postępują niehumanitarnie w stosunku do nowego, właściwie syntetycznego gatunku. Ale na razie ten problem możemy zostawić. Przejdźmy zatem do przedstawienia kilku implementacji biobotów. Są to projekty wykonane przez badaczy z ośrodków naukowych na całym świecie.

### ***Projekt Robota Hexapod***

Projekt ten został zapoczątkowany na Uniwersytecie Illinois w 1994 roku za sprawą Narodowej Fundacji Naukowej jako wspólna praca naukowców Narendra`y Ahuja i Marka Nelsona. W początkowych latach, gdy stawiano pierwsze kroki, dużą pomocą służyli Jan Cocarte-Zilgen i John Hart. Grupa ta podjęła próbę zbudowania chodzącego sześćonożnego robota i zakończyła ją sukcesem. Robot Hexapod jest stworzony na wzór karalucha amerykańskiego (*Periplaneta americana*). Naukowcy mówią, że wybrali taki model, ponieważ insekt ten jest bardzo szybki i zwinny oraz jego budowa jest dobrze znana. Robot ma 58 cm długości, 14 cm szerokości i 23 cm wysokości. Ma 15 cm od swojej dolnej części do ziemi, kiedy stoi. Kończyny wystające po bokach są lekko zgięte w kierunku głowy i dodają robotowi około 38 cm szerokości i 18 cm długości. Maszyna waży mniej więcej 11 kg. Jest to spowodowane tym, że zawory powietrzne są dość ciężkie, a zamontowano ich 36, gdyż robot jest napędzany sprężonym powietrzem. Wymiary tułowia i kończyn robota są od 12 do 17 razy większe niż jego żywego odpowiednika, za to jest znacznie cięższy niż powinien być w tej skali, co jest spowodowane obecnością zaworów. Każda kończyna posiada silniczek pneumatyczny, który umożliwia symulację napinania i rozluźniania mięśni.



Robot Hexapod, MARK I

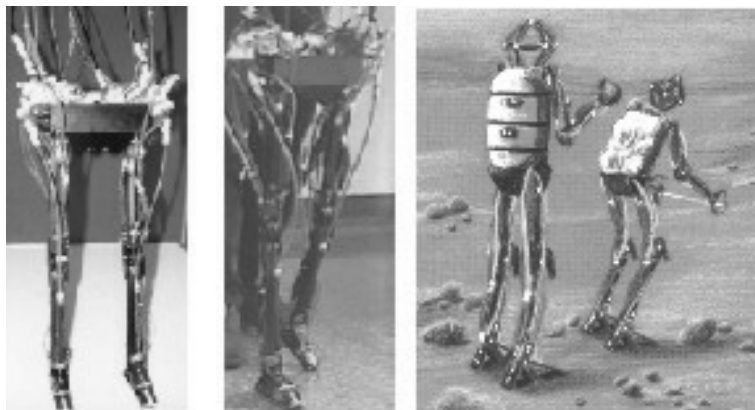
Ostatecznym zadaniem twórców robota będzie dokładne zamodelowanie maszyny szczegółowo wzorując się na budowie insekta oraz stworzenie dobrego systemu sterowania poznając wszystkie zasady poruszania się karalucha amerykańskiego. Tymczasem naukowcy, mając możliwość zbudowania funkcjonującego robota względnie szybko, postawili na prostotę w swoim projekcie. Dlatego, chociaż kierowali się cechami strukturalnymi i funkcjonalnymi insekta, zdecydowali się nie budować jeszcze robota odzwierciedlającego model w każdym detalu oraz ich system sterowania nie stosuje wszystkich ważnych reguł biologicznych. „Rozwój autonomicznych robotów chodzących znajduje się dopiero w swej początkowej fazie, ale na dzień dzisiejszy nasz robot potrafi stać, jest odporny na zakłócenia równowagi i umie chodzić” – mówią naukowcy z Uniwersytetu w Illinois.

Patrząc na zdolności dzisiejszych robotów oczywiste jest, że inżynierowie mają jeszcze wiele do nauczenia się o naśladowaniu elastyczności i płynności ruchów, jaką zauważamy u zwierząt.

### ***IIS BioBots™***

Biologicznie inspirowane roboty, które potrafią chodzić i biegać to cel, jaki przyjęli sobie inżynierowie i naukowcy w Intelligent Interference Systems Corp. Ich bioboty mają używać sztucznych mięśni i czujników rozciągania zamiast ciężkich silników używanych w tradycyjnych robotach. Zespół pracujący nad projektem składa się z naukowców wielu dyscyplin. Prof. Robert Full i dr Kenneth Meijer z Wydziału Biologicznego Uniwersytetu w Berkeley oraz prof. Felix Zajac z Wydziału Inżynierii Biochemicznej na Uniwersytecie w Stanford przewodzą tej grupie. Pierwszy prototyp dwunożnego robota został opracowany. Jako wzór posłużył ludzki organizm. Robot posiada najważniejsze części ciała potrzebne do poruszania się: biodro, kolano, stawy

kostne. Połączono je minimalną liczbą mięśni potrzebnych do funkcjonowania. Sterowanie opiera się na pobudzaniu odpowiednich kombinacji mięśni do wykonywania odpowiednich ruchów.



BioBoty™ IIS

Robot jest niezwykle stabilny nawet, gdy ograniczymy kontrolę systemu sterowania, który jest zresztą bardzo prosty (używa tylko kilku intuicyjnych reguł).

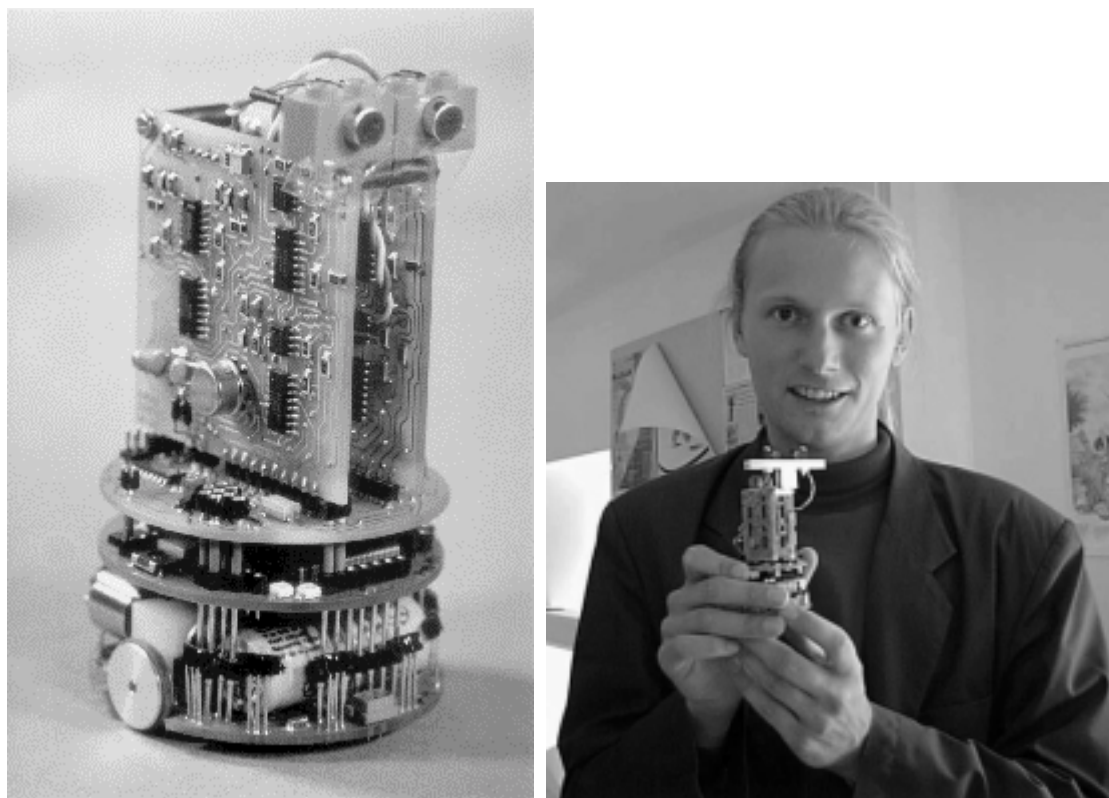
„Nauka chodzenia jest również niezwykle prosta i intuicyjna. Kierując się niewielką liczbą zasad wygenerowaliśmy pewne odruchy, dzięki którym nasz pierwszy prototyp robota potrafi ukończyć cały cykl chodzenia.” – mówi dr Ron Jacobs, jeden z twórców biobota.

### ***Świerszcz (Gryllus bimaculatus)***

Świerszcze płci żeńskiej lokalizują swoich potencjalnych partnerów słuchając ich pieśni godowej, którą samce „grają” pocierając kończynami o skrzydła. Dźwięk wytwarzany w ten sposób ma różne częstotliwości dla różnych gatunków świerszczy.

Zadanie stworzenia biobota, który zachowywałby się jak samica świerszcza, gdy słyszy samca „nie jest niemożliwe, lecz na pewno stawia wysokie wymagania i niewielu ludzi potrafiłoby im sprostać”, mówi Barbara Webb, psycholog z Uniwersytetu w Nottingham w Wielkiej Brytanii. John Hallam z Wydziału Sztucznej Inteligencji na Uniwersytecie w Edynburgu oraz Henrik Hautop Lund z Uniwersytetu w Aarhus w Danii dołączyli do Barbary Webb, by pomóc jej w implementacji. Naukowcy odkryli, że rozpoznanie pieśni okazuje się być efektem ubocznym procesu ustalania źródła jej pochodzenia.

Początkowe eksperymenty były przeprowadzane przy użyciu robota LEGO, lecz aby uzyskać większą kontrolę nad parametrami testów, wykorzystano miniaturowego robota Khepera, posiadającego zdolności poruszania się. Khepera jest w kształcie walca i ma 55 mm średnicy oraz posiada wbudowany własny system sterowania.



Khepera

Skonstruowano dla robota „uszy”, którymi były programowalne mikrofony. Eksperyment polegał na ustawieniu wokół robota wielu źródeł dźwięku, by jak najlepiej odwzorować warunki rzeczywiste oraz na odegraniu różnych pieśni samców nagranych wcześniej. W wyniku robot zaczynał poruszać się w kierunku jednego ze źródeł dźwięku, co się zgadzało z zachowaniem samic w świecie rzeczywistym.

Następnie przeprowadzono próby z prawdziwymi samcami świerszczy (*Gryllus bimaculatus*) i robot zachował się tak samo. Potem wykazano, że Khepera reaguje tylko na właściwie „zagrana” pieśń godową (na przykład *Gryllus bimaculatus* wytwarza dźwięki z 200 ms przerwami, w każdym potarciu są trzy 20 milisekundowe sylaby rozdzielone tak samo długimi przerwami, częstotliwość nośna wynosi 4.7 kHz). Robot nie reaguje na dźwięk ciągły, ani na pieśni godowe o innych częstotliwościach.

### ***Madagaskarski Karaluch Syczący***

System oddechowy tego karalucha wydaje dźwięk syczenia, stąd jego nazwa, ale tym razem nie o dźwięk chodzi. Otóż według prof. Thomasa Moore'a z Uniwersytetu w Michigan, biobot to żyjący, oddychający robot, którym naukowcy mogą sterować używając impulsów elektrycznych, wysyłanych przez cieniutkie kabelki wszczepione zaraz za czułkami insekta. Powodem, dla którego zainteresowano się karaluchem, twierdzi profesor biologii Thomas Moore, jest fakt, że mogą one dostać się w miejsca niedostępne dla innych urządzeń dostawczych. Prof. Moore podkreśla, że nie chodzi mu o jakiegokolwiek karalucha, lecz po przeprowadzeniu wielu badań odkrył, że najlepsze parametry fizyczne posiadają karaluchy żyjące na Madagaskarze. Są grube i silne, dzięki swoim mocnym kończynom potrafią przenieść ciężar o wadze kilka razy większej niż waga ich ciała, co prof. Moore sprawdził przywiązując kilka monet dwudziestopięciocentowych na grzbiecie insekta.



Grupa inżynierów na Wydziale Elektronicznym Uniwersytetu w Michigan pod przewodnictwem prof. Moore'a opanowała metodę sterowania karaluchem madagaskarskim poprzez stymulowanie jego systemu nerwowego. Wygląda to jak prowadzenie zdalnie sterowanego samochodu-zabawki: skręć w prawo, skręć w lewo, stój, jedź...

Aktualnie prowadzi się wiele projektów dotyczących budowy biobotów. Najbardziej popularne to: model widzenia muchy dla zwiększenia umiejętności omijania przeszkód na drodze (Franceschini); symulowane i rzeczywiste modele sześcionożnych owadów chodzących (Cruse, Beer); modelowanie okresu godowego świerszcza przy pomocy robotów (umiejętność lokalizacji źródła dźwięku) (Webb) i przemieszczanie się robotów na podstawie badania polaryzacji światła (Wehner).

### ***Bioboty w praktyce***

Naukowcy żywią nadzieję, że kable, jakimi połączone są bioboty z jednostką sterującą, zostaną w niedalekiej przyszłości zastąpione nadajnikami i odbiornikami radiowymi, dzięki czemu znacznie zwiększy się zasięg ich wędrówek. Wtedy będzie można umieszczać na grzbiecie takiego biobota – owada urządzenia, które będą zbierać różnego rodzaju dane na temat otoczenia, a nawet, jeśli uda się opracować odpowiednio małą kamerę, robić zdjęcia.

Jednym z najbardziej ciekawych zastosowań biobotów byłoby użycie ich do szukania ofiar trzęsień ziemi w przykrytych gruzami piwnicach, lub do badania napromieniowanych pomieszczeń w elektrowni atomowej, w której nastąpiła awaria.

### ***Źródła***

<http://detnews.com/1997/accent/9703/14/03140084.htm>

<http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/bhw/aaai.html>

<http://www.life.uiuc.edu/delcomyn/research.10.robotics.htm>

<http://www.daimi.aau.dk/~hhl/cricket.html>