

15.01.2001

Wstęp do Sztucznej Inteligencji
Projekt

Temat:

Bioboty

*— co to jest,
wybrane projekty: cel, metodologia, osiągnięcia*

Prowadząca:
dr hab. inż. Halina Kwaśnicka

Kamil Olszewski
IV inf. IO IZ

WROCLAW 2001

Spis treści

WSTĘP	3
WYPEŁZANIE Z BAGNA	
— poruszanie się w dwóch ośrodkach: woda i ląd	4
NAKARM MNIE !	
Czy dziecinna zabawka ciuchcia połączona z receptorem smaku mięsa może stanowić o przyszłości robotyki?	5
ROBOT NA WSZYSTKIE OKAZJE	
— żadna praca nie jest niezwykła ani niemożliwa dla rasy robotów, które same są swoimi twórcami	7
CYBERCRICKET	
— cyberświerszcz	9
PODSUMOWANIE	11

WSTĘP

Pojęcie *bioboty* niesie ze sobą pewien paradoks. Z jednej strony sugeruje, ono związek z robotami, a więc wytworami techniki, zdecydowanie martwymi, z drugiej zaś wskazuje na pochodzenie od czegoś żywego, biologicznego. Próba połączenia tych dwóch odmiennych, a często wrogich dla siebie światów wydaje się być daremną. Jak jednak jest naprawdę — czy roboty mogą żyć? Czy da się ożywić to, co martwe? Cel przeciwny jest, oczywiście, bardzo łatwy do osiągnięcia.

Dążenia naukowców idą nieco innym torem. Nie próbują oni bawić się w Pana Boga, ale raczej starają się Go naśladować w twórczości, mając do dyspozycji kawałek metalu, trochę plastiku, jakąś sieć neuronową, kilka kółek, dużo wyobraźni i wiele innych rzeczy, z których montują przedziwne czasami stwory–potwory. Robią to nie tylko dla dobrej zabawy, chociaż na pewno trochę tak; wiele z powstających dziś biobotów będzie kiedyś przyjemnymi i użytecznymi towarzyszami naszej codzienności.

Temat okazał się bardzo rozległy. Przedstawiam więc wyrozumiałemu Czytelnikowi pracę, która nieudolnie próbuje ogarnąć stan badań i pole zainteresowań naukowców w tej dziedzinie. W kolejnych „niby rozdziałach” staram się omówić większe projekty, o których ich twórcy zechcieli się podzielić na łamach stron internetowych (dokładne adresy znajdują się na końcu pracy). W Podsumowaniu m.in. pokrótce wymienię nie omówione zagadnienia.

Życzę przyjemnej lektury.

Wypęłzanie z bagna — poruszanie się w dwóch ośrodkach: woda i ląd

Na uniwersytecie w Kalifornii powstała symulacja robota, który potrafi jednocześnie chodzić i pływać. Zdaniem pomysłodawców i twórców¹, zrozumienie złożonego sposobu poruszania się uwzględniającego dwa ośrodki: wodę i ląd, mogłoby prowadzić do powstania nowego pokolenia ziemnowodnych robotów.

Chcieli oni zbadać, w jaki sposób proste sygnały z centralnego systemu nerwowego „zwierzęcia” wpływają na jego zachowanie. W tym celu zasymulowali centralny system nerwowy salamandra i dodatkowo poddali go animacji komputerowej.² W wyniku tej symulacji powstał salamander „żyjący” w płaskim świecie lądu i wody. Problem nie jest jednak błahy, ponieważ dobrze byłoby, gdyby salamander mógł przechodzić z jednego otoczenia do drugiego bez zatrzymywania się. Wymagałoby to od niego dostosowania chodu i w ogóle sposobu poruszania się do zmieniających się warunków.

Projektanci próbowali tradycyjnie rozwiązać problem metodą „dziel i zwyciężaj”. Jednak to podejście okazało się mało elastyczne.

W rzeczywistości zwierzęta do celów poruszania się w zmiennym środowisku używają nerwowych przełączników czuciowych, które aktywują bądź dezaktywują mechanizmy kontroli. Bodźce pochodzące z tych czujników przekształcane są do złożonych i koordynowanych ruchów ciała. Przy badaniach salamandra, projektanci wypróbowali wiele różnych mechanizmów pracy i kontroli układów nerwowych. Na tych przykładach poznali, w jaki sposób kręgowce za pomocą układu nerwowego kontrolują swoje ciała.

¹ Auke Ijspeert and Michael Arbib of the Brain Simulation Laboratory at the University of Southern California in Los Angeles.

² W Internecie można znaleźć wiele przykładowych plików animacji.

Poprzez skopiowanie naturalnego oscylatora produkującego w mózgu kręgowców rytmiczne sygnały dla różnych rodzajów ruchu, badacze byli zdolni dla swoich przypadków wygenerować całkiem złożone zachowania. W każdym razie wcześniejsze założenia udało się zrealizować: gdy robot „widzi” wodę zbliżającą się, lub „czuje ją”, wówczas odpowiedni oscylator uaktywnia serię neurologicznych przełączników wprawiając ciało salamandra w ruch umożliwiający poruszanie się w otaczającym środowisku.

Projektanci są zdania, że badania ich pomogą nam samym dowiedzieć się czegoś więcej o naszych mechanizmach kontroli. Podobieństwo bowiem między salamandrą a człowiekiem jest bardzo duże, chociaż na niewielką skalę.

Nakarm mnie ! Czy dziecinna zabawka ciuchcia połączona z receptorem smaku mięsa może stanowić o przyszłości robotyki?

Gastrobot, nazwany przez swojego twórcę³ „Chew Chew”⁴, jest pierwszym na świecie robotem w zupełności napędzonym tym, co sam spożyje. Na pierwszy rzut oka zapowiada się on dość monstrualnie, jednak w rzeczywistości „Chew Chew” sprawia całkiem przyjazne wrażenie. „Zwierzę” porusza się dość hałaśliwie na swoich dwunastu kołach (więc nie mógłby nikogo podjechać od tyłu), a swoim wyglądem przypomina pociąg. Jego pierwsza prezentacja odbyła się na konferencji poświęconej robotyce w sierpniu 2000 roku na Hawajach.

Żołądek „Chew Chew” jest mikrobową komórką paliwową (MFC⁵), urządzeniem wykorzystującym populację bakterii, w tym przypadku „E. coli”, do trawienia żywności i zamieniającym chemiczną energię na elektryczność. Idealnym paliwem, czyli najbardziej energetycznym jest mięso. Pokarm pochodzenia roślinnego nie

³ Stuart Wilkinson (University of South Florida in Tampa).

⁴ Ang. „Żuj Żuj”.

⁵ Ang. Microbial Fuel Cell.

jest już tak odżywczy. Jednak z drugiej strony, spożywanie mięsa wymaga najpierw „upolowania”, co pociąga za sobą straty energetyczne.

Biorąc pod uwagę powyższy problem, pierwsze gastroboty spędzały dużo czasu na trawnikach, kosząc je i wykorzystując trawę jako paliwo. W perspektywie pracy nad gastrobotami takimi, jak „Chew Chew” jest stworzenie autonomicznych robotów, które mogłyby same się wyżywić.

Robot składa się z trzech metrowych platform (wagonów) zatwierdzonych na kołach. Obecnie, dla wygody, „Chew Chew” jako pokarm otrzymuje tylko kostki cukru ponieważ te są niemal całkowicie rozkładane przez bakterie. Nie produkując właściwie żadnych odpadów, są wysoce wydajne — cukry są również bardzo energetyczne.

Wykorzystywanie cukrów odbywa się następująco: bakterie produkują enzymy, które rozkładają węglowodany; za każdym razem, gdy z wielkich cząsteczek, takich jak glukoza powstają mniejsze, emitowane są również elektrony; te z kolei wykorzystywane są do ładowania akumulatorów w reakcjach utleniania i redukcji (*redoks*). Proces ten jest analogiczny do tego, jaki zachodzi u ssaków, gdy krew zaopatruje organizm w tlen; tu jednak występują elektrony zamiast tlenu. W „dziecie cukrowej”⁶ „Chew Chew” nie produkuje zbyt wiele zbędnego dwutlenku węgla i wody, które produkowałby, gdyby spożywał pokarm mięsny lub roślinny.

Obecnie karmienie „Chew Chew” odbywa się jak karmienie dziecka. Nie ma on bowiem żadnych rąk, ani nóg, aby samodzielnie zdobywać pożywienie. Ponadto MFC nie produkuje dość energii, by biobot mógł swobodnie się poruszać. Zmiana miejsca położenia możliwa jest tylko wówczas, gdy akumulatory naładowane są do pełna. Kiedy baterie się wyczerpują ruch jest wstrzymany aż do momentu, gdy znów będą pełne.

Zamiana energii chemicznej pochodzącej z pokarmów na energię elektryczną nie jest rzeczą nową. Zaslugą projektanta „Chew Chew” jest natomiast miniaturyzacja elementu MFC tak, by można było zastosować go w robotyce.

Innym projektem, mającym nawet zastosowanie praktyczne jest robot służący wyłapywaniu i spożywaniu ślimaków bezskorupkowych. Wykonuje on trawienie na bieżąco. Biorąc pod uwagę przeznaczenie tego gastrobota, rozwiązanie to jest bardziej skuteczne niż ruch wahadłowy tam i z powrotem pomiędzy łupem i MFC.

⁶ Termin mój [K.O.].

Robot na wszystkie okazje — żadna praca nie jest niezwykła ani niemożliwa dla rasy robotów, które same są swoimi twórcami

Wyobraźmy sobie automat, który sam może się zaprojektować, sam zmontować i nawet... sam siebie zabić!!!

Zdaniem badaczy z Massachusetts nie jest to robot wykonany z płynnego metalu, jak w filmie Terminator 2, ale taki, który sam może budować siebie; wykonywać szczególne zadanie: przetapiać się i zwracać do obiegu.

Stworzyli oni, jak sami to nazywają, „polimorphic robot—a machine”, który ma możliwość zmiany swojego kształtu tak, by lepiej dopasować się do wykonywanej pracy. Roboty zmieniające kształt mogłyby być używane w celu badania planet (być może także nowych), lub w misjach poszukiwawczo-ratunkowych. Ich zmieniający się kształt w każdym nowym wyzwaniu mógłby dostosowywać się do dziwnych i nie do przewidzenia zmian otoczenia.

Początkowo produkowano proste roboty w obudowie termoplastycznej. Całym zadaniem, jakie przed nimi stawiano, było odkrycie sposobu poruszania się. Prototyp był rzeczywiście podstawowy, nie miał żadnych czujników, nie mógł więc kontaktować się ze światem zewnętrznym. Czujniki zamierzano dodać w późniejszym stadium pracy.

Dalsze zamierzenia wobec tego projektu są następujące. Robot będzie otrzymywał polecenie wykonania jakiegoś zadania, np.: „wykombinuj, jak mógłbyś się poruszać używając wyłącznie jednego silnika i jednej nogi”. Wówczas komputer przystąpi do zaprojektowania takiego ciała, korpusu, które byłoby najskuteczniejsze do sprostania temu wyzwaniu.

Obecnie, ciało robota budowane jest przy użyciu „szybkiego modelowania”, technologii wykorzystywanej w przemyśle samochodowym, które w szybki sposób może produkować złożone trójwymiarowe elementy. Używanym tutaj przyrządem jest tzw.

„3D drukarz”⁷, który za pomocą dyszy stopniowo nakładając termoplastyczne warstwy tworzy powoli wymagany kształt.

Chociaż rozmiary „3D drukarzy” są jeszcze na tyle duże, że nie można w nie wyposażać nowych modeli robotów, to jednak zdaniem twórców pewnego dnia, kiedy miniaturyzacja osiągnie i tych elementów, zaczną powstawać roboty wyposażone w te urządzenia. Pozwoli to im dostosowywać się do zadania na bieżąco, niemalże bez przerywania pracy. Zdaniem naukowców z Xerox Palo Alto Research Center (PARC) w Kalifornii, byłby to obszar zastosowań, w którym polimorficzne roboty mogłyby być najbardziej użyteczne. Zamiast zabierać cały zestaw narzędzi na miejsce pracy, kiedy nie wiadomo, które będą potrzebne, pojedynczy robot mając możliwość kształtowania swojej ręki będzie mógł wykonać całą pracę.

Możliwości „3D drukarzy” nie sprowadzają się do produkowania wyłącznie części mechanicznych. Z równym powodzeniem mogłyby one produkować elementy elektroniczne: izolatory, przewodniki a nawet półprzewodniki.

Sposób zachowania się robota wobec nowego zadania jest niemożliwe do przewidzenia, ponieważ każdy jego ruch jest uzależniony od algorytmu genetycznego. Budowa fizyczna i sieć neuronowa stanowiąca „mózg” proponowanego robota, są traktowane jak informacja genetyczna, tzn. mogą podlegać rekombinacji i mutowaniu w celu stworzenia całkowicie nowego zachowania. „Sprawność” potomków pochodzących z rekombinacji jest oceniana i najlepsze egzemplarze są poddawane dalszej reprodukcji.⁸ Ten proces powtarzany jest wielokrotnie, aż do uzyskania najlepszych efektów pracy. Wpływ algorytmu genetycznego nie jest jednak nieograniczony. Podlegają mu wyłącznie rozmiary odpowiednich części oraz elementy elektryczne, takie jak silniki, które służą m.in. do wprowadzania tych zmian. Wszystkie połączenia dowolnych dwóch części ze sobą polegają na zamocowaniu jednej z nich zakończonej kulką w drugiej zakończonej gniazdem. Właśnie te proste implementacje wzorowane na obserwacjach natury podlegają „ewolucji” za sprawą algorytmu.

Sposób poruszania się tych robotów jest bardzo zróżnicowany. Niektóre poruszają się za pomocą jednej nogi, inne naśladują pełzanie, jak ryba wyjęta z wody, jeszcze inne poruszają się bokiem, jak krab. Roboty gotowe są do ruchu niemal zaraz po wyjściu spod „igły” drukarza. Jedyne musi być wstawiony przez człowieka.

⁷ Oryginalnie: „3D Printer”.

⁸ Sposób postępowania standardowy dla algorytmów genetycznych.

Zamierzeniem projektantów jest wyeliminowanie również tej czynności tak, by roboty były całkowicie niezależne.

Powstałe roboty po wykonaniu swojego zadania będą podlegały przetopieniu w części bądź w całości. Ich termoplastyczne składniki będą zwracane do obiegu i wykorzystane przez 3D drukarza do innych projektów.

Pomysł budowy robotów modułowych, które mogą powstawać przez łączenie kilku robotów mniejszych jest zupełnie nowatorski. Jednak do powstania naprawdę użytecznych robotów potrzebne są nowe technologie i materiały.

Cybercricet — Cyberświerszcz

W ciemnym laboratorium, samotne stworzenie (płci żeńskiej), szurając nogami chodzi wokół swojej klatki, wabione przez pieśń miłosną samca, z którym nigdy nie będzie mogła się spotkać. Od początku swojego istnienia cały swój czas spędza w tych nienaturalnych warunkach skazana na to, że nigdy nie ujrzy świata zewnętrznego i zmuszana jest, by stosować się do kaprysów badaczy. Jednak jej sytuacja nie może wzbudzać gniewu wśród zwolenników walki o prawa zwierząt, ani sympatii u nikogo.⁹ Naprawdę bowiem, cała jej istota to tylko kilka kół i toból elektronicznych elementów. Ma nawet pewną zaletę: nie trzeba po niej czyścić klatki.

Cybercricet zachowuje się jak prawdziwy świerszcz i to nie tylko zewnętrznie. Jest jedną z pierwszych prób reprodukcji sygnalizacji nerwowej znajdującej się w żywym stworzeniu.

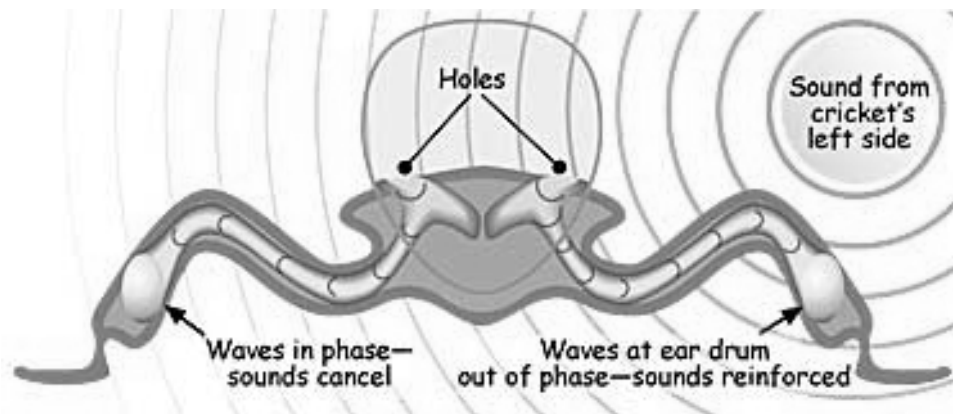
Takie eksperymenty mogą być wykonywane przez modele komputerowe. Niektórzy naukowcy mają jednak zastrzeżenia, uważając, że symulacje nigdy nie oddają w pełni prawdziwego świata. Dlatego główną zaletą używania robotów w prawdziwym eksperymencie jest to, że wyłapują one te same bodźce środowiskowe, co prawdziwe zwierzęta. Cybercricet, w zamierzeniach ma służyć właśnie tym celom. Ponadto, aby móc

⁹ Wstęp jak w psychologicznym dreszczowcu brazylijskim ;-)

obserwować żyjące zwierzę, musi mieć ono umieszczone w mózgu elektrody, które będą rejestrować działanie wybranych neuronów, ale wtedy pojawia się pytanie: czy zwierzę to będzie się jeszcze zachowywać normalnie?

Samice świerszczy wybierają potencjalnych partnerów poprzez wsłuchiwanie się w ich sygnały dźwiękowe (piosenki), jakie wydają z siebie przy pomocy pęcherza pławnego. Pęcherz pławny jest inaczej zbudowany u różnych gatunków, co powoduje, że wydawane dźwięki są odmienne i umożliwiają samicy identyfikację samca. Sposób rozpoznawania dźwięków, *phonotaxis*, był przez wiele lat badany na przykładzie świerszcza *Gryllus bimaculatus*, przez obserwowanie jego zachowanie oraz studiowanie jego systemu nerwowego.

Idealnym sposobem osiągnięcia tego celu było odizolowanie wszystkich neuronów podejrzanych o związek z *phonotaxis* od reszty mózgu, a następnie zagranie świerszczowi piosenki miłosnej i wreszcie obserwacja tego, co się dzieje. Konieczne stało się również skopiowanie jego specyficznego systemu słuchowego. *Gryllus bimaculatus* w przednich nogach ma dwa bębni słuchowe połączone wewnętrznymi rurkami z otworami w ciele (*patrz Rys.*).



*Rys. Przekrój poprzeczny przez świerszcza;
reakcja na sygnały dźwiękowe dochodzące z lewej strony*

Taka budowa pozwala świerszczowi zlokalizować kierunek, z którego dochodzi dźwięk. Dodatkowym warunkiem jest oczywiście zgodność częstotliwości dźwięków, która jest cechą charakterystyczną dla poszczególnych gatunków.

Wzorując się na naturze, w projekcie również uwzględniono problem kierunku pochodzenia sygnału. Jeżeli np. lewe neurony otrzymają sygnał jako pierwsze, hamują wówczas przejście jakiegokolwiek sygnału między prawostronnymi neuronami. Ta zaskakująca prostota była jedną z cech projektu.

Powstały robot miał przetestować teorię, która mówi, że *phonotaxis* wymaga dwóch systemów kontroli nerwowej: jednego do rozpoznawania dźwięku samca, drugiego do lokalizacji jego położenia. Kiedy tutaj zagrano odpowiednią „melodię”, okazało się, że ten sztuczny świerszcz nie tylko ją rozpoznał, ale również zaczął się poruszać w kierunku źródła dźwięku.

Czy system nerwowy prawdziwego świerszcza może być aż tak prosty?

Dla potwierdzenia zbadano jeszcze jedną teorię. Skądinąd wiadomo, że świerszcze preferują dźwięki o wyższej częstotliwości. Kiedy postawiono przed robotem dwa źródła różnych dźwięków, zaobserwowano, że rzeczywiście zaczął się on poruszać w kierunku wyższego z nich.

Jednak nie wszyscy biolodzy są przekonani do trafności tych wniosków. Są oni zdania, że nawet najmniejsze systemy biologiczne nie są proste. Nawet gdyby robot świerszcz doskonale naśladował zachowanie zwierzęcia, to jeszcze nie dawałby niezbitych dowodów na to, że roboty i zwierzęta robią to w ten sam sposób.

PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy starałem się ukazać na przykładzie wybranych projektów, jaki jest stan badań i poszukiwań naukowców w dziedzinie ożywiania tego, co martwe (wskrzeszania). Należy mieć świadomość, że jest to bardzo wąski przekrój tego, co zostało opublikowane. Niemniej jednak, dane zaczerpnięte do projektu są bardzo aktualne (np. model „Chew Chew” zaprezentowano w sierpniu 2000). Wszystkie pochodzą ze stron internetowych amerykańskiego pisma popularnonaukowego *New Scientist* (patrz dalej w literaturze). Chociaż, jak wspominałem, informacje zawarte w niniejszej pracy są bardzo zawężone to jednak — pocieszam się — stan wiedzy czytelników jest chyba jeszcze węższy. W każdym razie, osobiście stwierdzam, że o większości pomysłów, z którymi tutaj się spotkałem, nigdy wcześniej nawet mi się nie śniło (rzadko mi się coś śni). Wiele z nich naprawdę mnie zaskoczyło.

Pole do popisu dla biobotów i ich twórców jest rzeczywiście szerokie. Warto więc tutaj choć napomknąć o tych, którym nie poświęciłem za wiele (czyli wcale) w swojej pracy:

- Klocki LEGO — dla projektantów biobotów bardzo ułatwiają modelowanie ciał swoich „podopiecznych”, np. humanoid „Elektra”:
www.androidworld.com/prod20.htm
- Intelligent Inference Systems Corporation na swoich stronach zamieściła wiele informacji, m.in. o pierwszym na świecie robocie poruszającym się na dwóch nogach!
www.iiscorp.com
- Robobug, robot poruszający się na sześciu nogach, naśladujący owada:
www.me.ufl.edu/~dkn/robots/rb_full.html
- Robot, także na sześciu nogach pokonujący przeszkody w poziomie i w pionie:
ai.eecs.umich.edu/RHex/

Gorąco zachęcam do własnych poszukiwań...

Literatura:

- NewScientist — strona główna: www.newscientist.com/...
 - Wypłzanie z bagna: .../nsplus/insight/ai/crawlingout.html
 - Nakarm mnie!: .../nsplus/insight/ai/toytrain.html
 - Robot na wszystkie okazje: .../nsplus/insight/ai/droidforall.html
 - Cybercricket: .../nsplus/insight/ai/biobots.html
-