

Postrzeganie i zachowania

- * Wyjaśnij w jednym lub dwóch zdaniach każdy z następujących terminów: odruchy, podatki, wzorce działań stałych, schemat, afordancja.
- * Wyjaśnij różnicę między cyklem SENS, PLAN, DZIAŁANIE, cyklem działania-percepcji i aktywnym postrzeganiem.
- * Umiejętność pisania pseudokodu zachowań zwierzęcia pod kątem wrodzonych mechanizmów uwalniania, identyfikując wyzwalacze dla zachowania.
- * Mając opis percepcji, zaklasyfikuj go jako percepcję bezpośrednią lub rozpoznanie.
- * Mając opis zdolności czuciowych zwierzęcia, jego zadania i środowiska, określ afordancję dla każdego zachowania.
- * Mając opis zachowań zwierzęcia pod względem bodźców, mocnych stron i reakcji, wyraż zachowania za pomocą teorii schematu i notacji S-R.

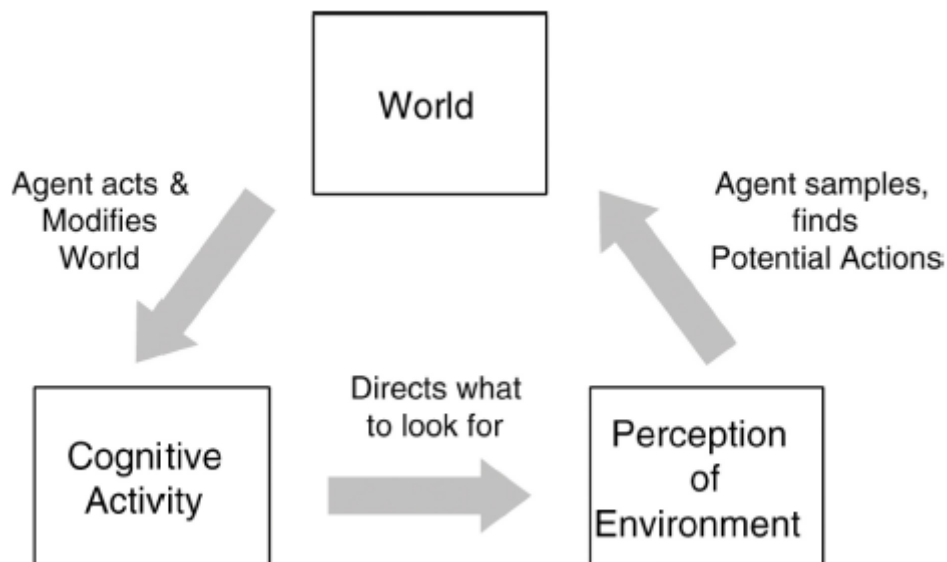
Wprowadzenie

Przypomnij sobie obliczenie rana z poprzedniej części, które zostało użyte do motywowania zachowań w warstwie reaktywnej i wprowadzenia teorii schematów. Ogólne zachowanie rana computatrix można rozłożyć na dwa zachowania, karmienie i ucieczka, z których każde ma niepowtarzalną percepcję i działanie. Podczas gdy poprzednia część dostarczała formalnych ram dla przełożenia biologicznych wglądów na schematy zorientowane obiektowo, omijał pytanie: co dzieje się w schematach, zwłaszcza w schemacie percepcyjnym? Schemat percepcyjny jest szczególnie intrygujący, ponieważ działanie wytwarzane przez schemat motoryczny jest widoczne dla obserwatora robota, ale percepcja, która kieruje działaniem, jest nieprzejrzysta. Ta nieprzejrzystość sprawia, że treść schematu percepcyjnego staje się mniej oczywista. Rana computatrix ilustruje, w jaki sposób postrzeganie może opierać się na wykorzystywaniu atrybutów środowiska. Na przykład zdobycz i drapieżniki można niezawodnie wyczuć za pomocą bodźców „małe i poruszające się” oraz „duże i poruszające się”. Pojęcia wywodzące się bezpośrednio z atrybutów lub wydarzeń na świecie nazywane są afordancjami i zostaną omówione bardziej szczegółowo. Postrzeganie afordancji nie jest jedynym postrzeganiem wpływającym na zachowanie. Agent może mieć wewnętrzne popędy, takie jak głód. Percepcja zachowania może być wynikiem połączenia schematów percepcyjnych, co prowadzi do większej liczby pytań o projektowanie percepcji. Siła percepcji może być różna, co prowadzi do różnej siły odpowiedzi. Te mocne strony działają jako korzyści z zachowania. W rana computatrix te dwa zachowania polegające na karmieniu i ucieczce wydawały się zawsze być „włączone”, chociaż nie zawsze powodowały akcję, ponieważ ropucha może po prostu tam siedzieć; nie musi to być ani uciekanie, ani łapanie muchy. Etolodzy odkryli, że rzeczywiście wiele zachowań jest „wyłączonych”, dopóki nie pojawi się bodziec, który je włącza lub uwalnia. Następnie zachowanie jest wykonywane na podstawie percepcyjnego wzorca schemat-motor. Proces ten jest ogólnie nazywany wrodzonym mechanizmem uwalniania. Oznacza to, że istnieją dwa aspekty percepcji, o których projektant musi pamiętać, jeden, który wyzwala zachowania i jeden, który jest częścią wewnętrznego działania zachowań. Obecność zachowań, które można niezależnie włączać i wyłączać, rodzi drugie pytanie: czy nie potrzebujesz jakiejś koordynacji, aby uzyskać złożone, pojawiające się zachowanie? Poprzedni rozdział i rozdział 4 kładły nacisk na zachowania wyłaniające się i niedeterminizm, ale nie podały żadnych konkretnych przykładów. Nadszedł więc czas, aby zbadać, jak zachodzi emergencja. Ta część próbuje odpowiedzieć na te pytania dotyczące schematów percepcyjnych i koordynacji, aby czytelnik miał solidną podstawę do głębszego zagłębienia się w algorytmy percepcyjne, lokomocję i główne style programowania

służące do koordynowania zachowań. Najpierw zagłębimy się w prace psychologów poznawczych Ulricha Neissera na temat percepcji zorientowanej na działanie oraz J.J. Gibsona na temat ekologicznej teorii percepcji, która stanowi podstawę myślenia o robotycznych schematach percepcyjnych. Gibson odrzucił konieczność globalnych modeli świata, co było bezpośrednią sprzecznością ze sposobem, w jaki percepcja była obsługiwana w paradygmacie hierarchicznym. Użycie przez Gibsona afordancji, zwanej także percepcją bezpośrednią, jest ważnym kluczem do sukcesu paradygmatu reaktywnego. Późniejsze prace Neissera próbują określić, kiedy modele globalne i rozpoznawanie obiektów są odpowiednie, a kiedy afordancja jest bardziej elegancka. W następnym rozdziale opisano pracę Lorenza i Tinbergena, opisując, w jaki sposób jednocześnie proste zachowania zwierząt oddziałują na siebie, aby wytworzyć złożone zachowania za pomocą wrodzonych mechanizmów uwalniania (IRM).

Cykl działania-postrzegania

Ulrich Neisser, który w swojej książce *Cognition and Reality* stworzył termin „psychologia poznawcza”, twierdził, że percepcji nie można oddzielić od działania. Założył, że działanie i percepcja tworzą cykl, jak widać na



CYKL AKCJA-PERCEPCJA

Cykl akcja-percepcja ilustruje, w jaki sposób percepcja jest fundamentalna dla każdego inteligentnego agenta. Prosta interpretacja tego cyklu brzmi: Kiedy agent działa, wchodzi w interakcję ze swoim rzeczywistym światem, ponieważ znajduje się w tym środowisku; oznacza to, że agent jest integralną częścią środowiska. Tak więc, gdy agent działa, to się zmienia jak rzecz lub jak je postrzega (np. przejście do nowego punktu widzenia, wywołanie osunięcia się skały itp.). Dlatego percepcja świata przez agenta modyfikuje mapę poznawczą lub stan zrozumienia celów agenta. Interesującą kwestią jest to, że aktualizacje mapy poznawczej są obsługiwane przez schemat antycypacyjny. Ten schemat filtruje dane sensoryczne na podstawie jego celów. Jeśli agent jest głodny, agent może nie zauważyć niczego, co nie ma związku z jedzeniem lub być może z bezpośrednim niebezpieczeństwem. Jeśli agent jest wystarczająco głodny, może przeoczyć oznaki niebezpieczeństwa. Tak więc mapa poznawcza może być reaktywna przy niewielkiej lub żadnej pamięci lub rozpoznaniu obiektów lub może być bardziej deliberatywna. Mapa poznawcza niekoniecznie jest globalnym modelem świata, ale może być zbiorem lokalnych światowych modeli zachowań. Aby uzyskać lub poprawić swoją percepcję, agent kieruje eksploracją percepcyjną, aby wypełnić luki w następnej aktualizacji. Agent może posuwać się do przodu

w swoim otoczeniu lub podejmować inne działania percepcyjne, takie jak odwracanie głowy w celu wyszukania określonej twarzy w tłumie lub fizyczne sondowanie otoczenia lub obiektu. Jest to rodzaj selektywnej uwagi lub skupienia uwagi, w którym agent percepcyjnie próbuje rzeczywisty świat. Jeśli podmiot działa, aby zewnętrznie zebrać więcej percepcji przed kontynuowaniem swojego podstawowego działania, to działanie to jest czasami określane jako aktywna percepcja. Częścią procesu pobierania próbek jest określenie możliwości działania, jakie daje świat. Istnieją dwie ważne uwagi dotyczące cyklu percepcja-działanie. Po pierwsze, cykl percepcji działania nie jest tym samym, co hierarchiczny paradygmat SENSE, PLAN, ACT. Cykl percepcji działania nie polega na wyczuwaniu świata i pojmowaniu wszystkiego, następnie planowaniu celów i wreszcie działaniu zgodnie z tymi celami. Zamiast tego istnieje w tle proces ciągłego postrzegania świata i zarządzania problemem ramki oraz wprowadzania dodatkowych działań w celu uzyskania większej ilości informacji. Rzeczywiście, cykl akcja-percepcja jest sprzeczny z formalną sekwencją SENSE, PLAN, ACT, ponieważ percepcja, czy to na potrzeby reakcji, czy namysłu, przebiega równoległe z działaniem, co sugeruje hybrydowy paradygmat. Po drugie, cykl percepcji akcji wyjaśnia, w jaki sposób agenci radzą sobie z percepcyjną złożonością świata lub problemem ramek. Cele i wiedza agenta stanowią instancję przewidującego schematu filtrowania i zarządzania percepcją. Przypuszczalnie istnieje wiele schematów, które są aktywne dla każdego z różnych zachowań i celów agenta, w tym domyślny schemat wyszukiwania niebezpieczeństwa.

Gibson: podejście ekologiczne

Cykl percepcja-działanie opierał się na percepcji, aby dostrzec potencjały działania, jakie daje świat. Psycholog poznawczy J.J. Gibson skoncentrował się na tym, jak agent postrzega te potencjały do działania, które nazwał afordancjami. Gibson określił swoją pracę jako „podejście ekologiczne”, ponieważ uważał, że percepcja ewoluowała, aby wspierać działania i że niemądrze jest dyskutować o percepcji niezależnie od środowiska agenta i jego zachowań związanych z przetrwaniem. Na przykład pewien gatunek pszczoł preferuje jeden szczególny rodzaj maku. Ale przez długi czas naukowcy nie byli w stanie ustalić, w jaki sposób pszczoły rozpoznały ten rodzaj maku, ponieważ kolorem był nie do odróżnienia od innego rodzaju maku, który rośnie na tym samym obszarze. Zapach? Magnetyzm? Żaden. Następnie naukowcy przyjrzyli się makowi w świetle ultrafioletowym i podczerwonym. W niewidocznych pasmach ten konkretny rodzaj maku wyróżniał się spośród innych gatunków maku. I rzeczywiście, naukowcom udało się znaleźć komponenty siatkówki wrażliwe na te pasma światła. Pszczoła i mak współewoluowały; kolor maku ewoluował do unikalnego pasma, podczas gdy w tym samym czasie siatkówka pszczoły specjalizowała się w wykrywaniu tego koloru. Z siatkówką pszczoły „dostrojona” do koloru maku, pszczoła nie musiała zastanawiać się, czy w zasięgu wzroku był mak, czy też był to właściwy gatunek maku. Jeśli ten kolor był obecny, mak był tam, a tym samym zapewniono możliwość karmienia. Rybacy wykorzystywali afordancje od zarania dziejów. Przynęta wędkarska stara się uwydatnić te aspekty pożądanego przez rybę pokarmu, prezentując w ten sposób najsilniejszy bodziec do żerowania. Jeśli ryba jest głodna, bodziec przynęty wywoła żerowanie. Dla człowieka przynęty często nie przypominają przynęty, którą imitują, ale przesadzają afordancje ofiary: strzebla błyszczą, gdy łapie światło; okoń może mieć charakterystyczny kolor skrzeli lub charakterystyczny ruch i tak dalej.

Afordancje

Centralną zasadą podejścia Gibsona jest to, że „… świat jest swoją najlepszą reprezentacją”. Praca Gibsona jest szczególnie interesująca, ponieważ uzupełnia rolę percepcji w IRM i wpisuje się w cykl akcja-percepcja. Gibson postulował (i udowodnił) istnienie afordancji. Afordancje to dostrzegalne możliwości otoczenia dla działania. To, co sprawia, że Gibson jest tak interesujący dla robotyków, to fakt, że afordancja jest bezpośrednio dostrzegalna. Percepcja bezpośrednia oznacza, że proces

odczuwania nie wymaga pamięci, wnioskowania ani interpretacji. Dlatego wymaga minimalnego czasu obliczeń i pamięci, co zwykle przekłada się na bardzo szybkie czasy wykonania (prawie natychmiastowe) za pomocą komputera lub robota. Ale czy agent może rzeczywiście postrzegać coś sensownego bez jakiejś pamięci, wnioskowania lub interpretacji? Poprzedni przykład Rana Computatrix przedstawia, w jaki sposób zwierzęta mogą przetrwać i rozwijać się bez pamięci, wnioskowania i interpretacji. Czy to działa dla ludzi? Weź pod uwagę, że idziesz korytarzem, gdy ktoś czymś w ciebie rzuci. Najprawdopodobniej schyliłbyś się. Prawdopodobnie też schyliłbyś się, nie rozpoznając obiektu, chociaż później możesz ustalić, że była to tylko piankowa kulka. Odpowiedź następuje zbyt szybko, by można było to rozumować. Nie mówisz sobie: „Och, spójrz, coś się do mnie zbliża. To musi być piłka. Piłki są zwykle twarde. Powinienem się uchylić.

Przepływ optyczny

PRZEPŁYW OPTYCZNY

CZAS NA KONTAKT

Powyższy scenariusz prowadzi do jednej z najczęstszych afordancji wzrokowych u zwierząt: czasu na kontakt. Uchylenie się w celu uniknięcia obiektu szybciej, niż twój mózg mógłby wyraźnie przeanalizować sytuację, opiera się na zjawisku zwanym przepływem optycznym. Przepływ optyczny to neuronowy mechanizm określania ruchu. Za jego pomocą zwierzęta mogą dość łatwo określić czas kontaktu. Prawdopodobnie znasz przepływ optyczny z jazdy samochodem. Podczas jazdy lub jazdy samochodem obiekty z przodu wydają się być wyraźnie wyostrzone, ale obiekty na poboczu są nieco rozmyte z powodu prędkości. Punkt w przestrzeni, do którego zmierza samochód, jest ogniskiem ekspansji. Od tego momentu pojawia się efekt rozmycia. Im bardziej rozmyte po bokach, tym szybciej jedzie samochód. (Filmy science fiction wykorzystują ten efekt rozmycia do symulowania podróży szybszych niż światło). Ten wzór rozmycia jest znany jako pole przepływu (ponieważ może być reprezentowany przez wektory, takie jak pole grawitacyjne lub magnetyczne). Łatwo jest wydobyć czas na kontakt, reprezentowany w literaturze kognitywnej przez τ . Głuptaki i skoczkowie wykorzystują przepływ optyczny do wykonywania precyzyjnych ruchów w ostatniej chwili jako odruchów. Głuptak to duże ptaki, które nurkują z dużych wysokości za rybami. Ponieważ ptaki nurkują z setek stóp w górę, muszą używać skrzydeł jako powierzchni kontrolnych, aby skierować swoje nurkowanie na wybraną rybę. Ale spadają tak szybko, że jeśli uderzą w wodę z otwartymi skrzydłami, ich wydrążone kości źle się roztrzaskają. Głuptaki składają skrzydła tuż przed uderzeniem w wodę. Przepływ optyczny sprawia, że czas kontaktu, τ , jest bodźcem: kiedy czas kontaktu spada poniżej progu, złóż te skrzydła! Skoki o tyczce dokonują również drobnych korekt, gdzie umieszczają kijki, gdy zbliżają się do przeszkody. Jest to dość trudne, biorąc pod uwagę, że Vaulter działa na najwyższych obrotach. Wygląda na to, że tyczkarze używają przepływu optycznego, a nie uzasadniają, gdzie jest najlepsze miejsce do posadzenia słupa. (Skoki o tyczce nie są jedynym przypadkiem, w którym ludzie używają przepływu optycznego, tylko takim, który został dobrze udokumentowany.) W większości zastosowań szybki program komputerowy może wydobyć pomost. Ostatnie przełomy wsparły obliczanie przepływu optycznego w czasie rzeczywistym. DJI, producent popularnych małych quadkopterowych bezałogowych statków powietrznych, oferuje teraz bezałogowe statki powietrzne z możliwością omijania przeszkód przy użyciu wyłącznie kamery pokładowej.

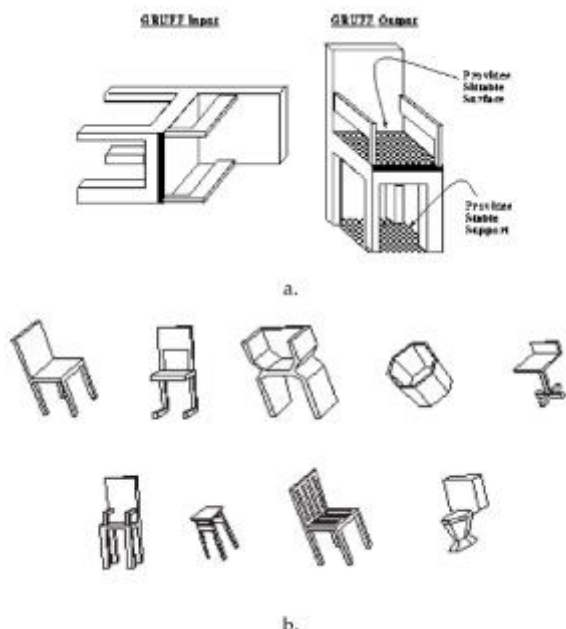
Afordancje niewizualne

Afordancje nie ograniczają się do widzenia. Powszechną afordancją jest wiedza, kiedy pojemnik jest prawie wypełniony po brzegi. Pomyśl o napełnieniu dzbanka lub baku samochodu. Nie będąc w stanie zobaczyć wnętrza, osoba wie, kiedy zbiornik jest prawie wypełniony przez zmianę dźwięku. Ta zmiana w dźwięku jest bezpośrednio dostrzegalna; osoba ta nie musi wiedzieć nic o wielkości lub kształcie

napełnionej objętości ani o tym, czym jest ciecz. Jednym ze szczególnie fascynujących zastosowań afordancji w robotyce, które służy również do zilustrowania, czym jest afordancja, są badania Louise Stark i Kevina Bowyera. Pozornie nie do pokonania problemem w widzeniu komputerowym była zdolność komputera do rozpoznawania obiektu na zdjęciu. Dosłownie komputer powinien powiedzieć „To jest krzesło”, jeśli zdjęcie przedstawia krzesło.

MODELE STRUKTURALNE

Tradycyjnym sposobem podejścia do problemu było wykorzystanie modeli strukturalnych. Model strukturalny próbuje opisać obiekt w kategoriach fizycznych komponentów: „Krzesło ma cztery nogi, siedzenie i oparcie”. Jednak nie wszystkie krzesła pasują do tego samego modelu konstrukcyjnego. Krzesło do pisania ma tylko jedną nogę, z podporami na dole. Wiszące krzesła koszowe w ogóle nie mają nóg. Ławka nie ma oparcia. Tak więc oczywiste jest, że podejście strukturalne ma problemy: zamiast jednej reprezentacji strukturalnej komputer musi mieć dostęp do wielu różnych modeli. Modelom strukturalnym również brakuje elastyczności. Jeśli robotowi zostanie zaprezentowany nowy rodzaj krzesła (powiedzmy, że ktoś zaprojektował krzesło tak, aby wyglądało jak twoja toaleta lub odwrócony kosz na śmieci), robot nie byłby w stanie go rozpoznać, chyba że ktoś wyraźnie skonstruował inny model konstrukcyjny. W percepcji Gibsona krzesło powinno być krzesłem, ponieważ umożliwia siedzenie. A afordancja siedzenia powinna być czymś, co można wydobyć z obrazu: Bez pamięci (agent nie musi zapamiętywać wszystkich krzesła na świecie). Bez wnioskowania (robot argumentuje: „Jeśli ma cztery nogi, siedzenie i oparcie, to jest to krzesło. Znajdujemy się w obszarze, w którym powinno być dużo krzesła, więc bardziej prawdopodobne jest, że jest to krzesło”). Bez interpretacji obrazu (robot argumentuje: „Jest podłokietnik i poduszka...”). Komputer powinien być w stanie po prostu spojrzeć na zdjęcie i powiedzieć, czy coś na tym zdjęciu jest do siedzenia, czy nie. Stark i Bowyer zastosowali percepcję Gibsona do rozpoznawania krzesła w programie o nazwie Generic Recognition Using Form and Function i (GRUFF).



GRUFF zdefiniował pozycję siedzącą jako rozsądnie płaską i ciągłą powierzchnię, która jest co najmniej wielkości pośladków człowieka i mniej więcej na wysokości kolan. (Wszystko inne, jak oparcia siedzeń, służy jedynie do określenia rodzaju krzesła.) Stark i Bowyer napisali program komputerowy, który akceptował rysunki CAD/CAM od studentów, którzy próbowali wymyślić nieintuicyjne rzeczy, które mogłyby służyć jako krzesła (takie jak toalety, wiszące krzesła koszowe, kosze na śmieci). Program

komputerowy był w stanie poprawnie zidentyfikować powierzchnie do siedzenia, które nawet uczniowie przegapili. Należy zauważyć, że Stark i Bowyer niechętnie twierdzą, co to mówi o percepcji Gibsona. Algorytmowi widzenia komputerowego można zarzucić pewne wnioskowanie i interpretację („To jest siedzenie. To odpowiednia wysokość”). Ale z drugiej strony ten poziom wnioskowania i interpretacji znacznie różni się od tego, który jest związany z próbą określenia budowy nóg i tak dalej. Zależność między rozmiarem a wysokością siedzenia można przedstawić w specjalnej sieci neuronowej, która może zostać uwolniona, gdy robot lub zwierzę zmęczy się i zechce usiąść. Robot zaczął zauważać, że może usiąść na półce lub dużej skale, jeśli w pobliżu nie ma krzesła lub ławki.

Dwa systemy percepcyjne

W tym momencie idea afordancji powinna wydawać się rozsądna. Krzesło jest krzesłem, ponieważ umożliwia siadanie. Ale co się dzieje, gdy ktoś siedzi na twoim krześle? Wydawałoby się, że ludzie mają pewien mechanizm rozpoznawania konkretnych wystąpień obiektów. Rozpoznawanie zdecydowanie wiąże się z pamięcią („Mój samochód to niebieski Ford Explorer i zaparkowałem go dziś rano na miejscu 56”). Inne zadania, takie jak rodzaj detektywizmu wykonywanego przez Sherlocka Holmesa, mogą wymagać wnioskowania i interpretacji. (Wyobraź sobie, że próbujesz skopiować Sherlocka Holmesa w komputerze. Jest to zupełnie inne niż naśladowanie głodnego małego rybitwy popielatej.) Tak więc, chociaż afordancje z pewnością są potężnym sposobem opisywania percepcji agentów, najwyraźniej nie jest to jedyny sposób, w jaki postrzegają to agenci. Neisser postulował, że w mózgu istnieją dwa systemy percepcyjne (i cytuje dane neurofizjologiczne):

1. bezpośrednia percepcja. Jest to „gibsonowski” lub ekologiczny ślad mózgu i składa się ze struktur nisko w mózgu, które wyewoluowały wcześniej i odpowiadają za afordancje. Tor postrzegania kierunku przez mózg może odpowiadać lokalnym modelom świata.

2. uznanie. Jest to nowsza ścieżka percepcyjna w mózgu, która wiąże się z rozwiązywaniem problemów i innymi czynnościami poznawczymi oraz odpowiada za użycie modeli wewnętrznych do odróżnienia „twojej filiżanki kawy” od „mojej filiżanki kawy”. To tutaj pojawia się odgórna, oparta na modelu percepcja. Ścieżka rozpoznawania mózgu może odpowiadać globalnemu modelowi świata.

Z bardziej praktycznego punktu widzenia dychotomia Neissera sugeruje, że pierwszą decyzją przy projektowaniu zachowania jest ustalenie, czy zachowanie można osiągnąć za pomocą afordancji, czy też wymaga ono uznania. Jeśli można to osiągnąć za pomocą afordancji, może istnieć prosty i bezpośredni sposób zaprogramowania go w robocie; w przeciwnym razie z pewnością będziemy musieli zastosować bardziej wyrafinowany (i wolniejszy) algorytm percepcyjny.

Wrodzone Mechanizmy Uwalniania

Cykl percepcja-działanie, a zwłaszcza afordancje, opisuje, w jaki sposób podmiot może postrzegać świat w sposób możliwy do wykonania obliczeniowego. Ale nie opisz, w jaki sposób agent przekłada percepcję na działanie: Kiedy agent faktycznie działa na potencjalność? a co, jeśli istnieje wiele możliwości? Najbardziej podstawowy biologiczny model tego, jak zachowania przekształcają percepcję w działanie, opiera się na procesie zwanym wrodzonymi mechanizmami uwalniania (IRM). Konrad Lorenz i Niko Tinbergen byli założycielami etologii. Każdy człowiek niezależnie zafascynował się nie tylko indywidualnymi zachowaniami zwierząt, ale także sposobami nabywania przez nie zachowań oraz wybranymi lub skoordynowanymi zestawami zachowań. Ich badania dostarczają pewnego wglądu w cztery różne sposoby, w jakie zwierzę może nabywać i organizować zachowania. Prace Lorenza i Tinbergena pomagają również zrozumieć teorię obliczeniową na poziomie 2, jak sprawić, by proces nabywał i koordynował zachowania. Cztery sposoby nabywania zachowania to:

WRODZONY

1. urodzić się z zachowaniem (wrodzonym). Przykładem jest zachowanie żywieniowe młodych rybitw popielaty. Rybitwy popielate, jak sama nazwa wskazuje, żyją w Arktyce, gdzie teren jest w większości w odcieniach czerni i bieli. Jednak rybitwa popielata ma jasnoczerwony dziób. Kiedy dzieci wykluwają się i są głodne, dziobią dziób swoich rodziców. Dziobanie wywołuje u rodzica odruch regurgitacji, który dosłownie wykastuje jedzenie dla niemowląt. Okazuje się, że maluchy same w sobie nie rozpoznają swoich rodziców. Zamiast tego dzieci rodzą się z zachowaniem, które mówi: jeśli są głodne, dziobnij największą czerwoną plamę, którą widzisz. Zauważ, że jedynymi czerwonymi plamami w ich polu widzenia powinny być dzioby dorosłych rybitw popielatych. Największy blob powinien być najbliższym rodzicem (im bliżej znajdują się obiekty, tym większe się pojawiają). Jest to prosta, skuteczna i niedroga obliczeniowo strategia.

SEKWENCJA WRODZONYCH ZACHOWAŃ

STAN WEWNĘTRZNY

2. urodzić się z sekwencją wrodzonych zachowań. Zwierzę rodzi się z sekwencją zachowań. Przykładem jest cykl godowy osy kopaczy. Samica koparki osy łączy się w pary, a następnie buduje gniazdo. Gdy samica zobaczy gniazdo, składa jaja. Sekwencja jest logiczna, ale ważną kwestią jest rola bodźca w wyzwalaniu kolejnego kroku. Gniazdo nie jest budowane, dopóki samice nie połączą się; krycie zmienia stan wewnętrzny samicy. Jaja nie są składane, dopóki gniazdo nie zostanie zbudowane; gniazdo jest wizualnym bodźcem wyzwalającym kolejny krok. Zauważ, że osa nie musi „znać” ani rozumieć sekwencji. Każdy krok jest wyzwalany przez kombinację jego stanu wewnętrznego i otoczenia. Jest to bardzo podobne do maszyn skończonych w programowaniu informatycznym.

WRODZONE Z PAMIĘCIĄ

3. urodzić się z zachowaniami, które wymagają pewnej pamięci do inicjalizacji (wrodzonej pamięci). Zwierzę może się urodzić z wrodzonymi zachowaniami, które wymagają dostosowania w zależności od sytuacji, w której się rodzi. Przykładem tego są pszczoły. Pszczoły rodzą się w ulach. Lokalizacja ula jest czymś, co nie jest wrodzone; mała pszczoła musi nauczyć się, jak wygląda jej ul i jak się do niego dostać i z niego wyjść. Uważa się, że ciekawe zachowanie pszczół (co jest wrodzone) pozwala im nauczyć się tych krytycznych informacji. Nowa pszczoła wyleci z ula na krótką odległość, a następnie zawróci i wróci. Lot ten będzie powtarzany, za każdym razem pszczoła będzie leciała nieco dalej po linii prostej. Po pewnym czasie pszczoła powtórzy to zachowanie, ale pod kątem od otworu do ula. W końcu pszczoła opłynie ul. Czemu? Cóż, przypuszczenie jest takie, że pszczoła uczy się, jak wygląda ul ze wszystkich możliwych kątów podejścia. Ponadto pszczoła może skojarzyć widok ula z poleceniem motorycznym („leć w lewo i w dół”), aby dostać się do otworu. Zachowanie powiększania wokół ula jest wrodzone; to, czego dowiadujemy się o wyglądzie ula i miejscu otwarcia, wymaga pamięci.

NAUCZYĆ SIĘ

4. nauczyć się zestawu zachowań. Zachowania niekoniecznie są wrodzone. U ssaków, a zwłaszcza naczelnych, niemowlęta muszą spędzać dużo czasu na nauce. Przykładem wyuczonych zachowań jest polowanie na lwy. Młode lwy nie rodzą się z żadnymi zachowaniami łowieckimi. Jeśli przez lata nie są uczone przez matki, nie wykazują zdolności do samodzielnego radzenia sobie. Na pierwszy rzut oka może wydawać się dziwne, że czegoś tak fundamentalnego jak polowanie na pożywienie można się nauczyć, a nie wrodzonego. Weź jednak pod uwagę złożoność polowania na żywność. Polowanie składa się z wielu podrzędnych zachowań, takich jak poszukiwanie pożywienia, podchody, pogoń i tak dalej. Polowanie może również wymagać pracy zespołowej z innymi członkami stada. Wymaga dużej

wrażliwości na rodzaj upolowanego zwierzęcia i ukształtowanie terenu. Wyobraź sobie, że próbujesz napisać program, który pokryje wszystkie możliwości nauki polowania! Chociaż wyuczone zachowania są bardzo złożone, nadal mogą być reprezentowane przez wrodzone mechanizmy uwalniania. Po prostu uczymy się wyzwalaczy i działań; zwierzę tworzy sam program.

Zwróć uwagę, że cztery kategorie sugerują, że robotnik ma spektrum możliwości wyboru, w jaki sposób robot może nabyć jedno lub więcej zachowań: od zaprogramowania zachowań (wrodzonych) do ich uczenia się (nauczenia). Sugeruje również, że zachowania mogą być wrodzone, ale wymagają pamięci. Lekcja z tego jest taka, że chociaż typy zachowań S-R są łatwe do zaprogramowania lub okablowania, projektanci robotów z pewnością nie powinni wykluczać użycia pamięci. Ale jak zobaczymy w rozdziale 8, to wykluczenie jest powszechnym ograniczeniem nakładanym na wiele systemów robotów. Jest to szczególnie widoczne w popularnym stylu budowania robotów hobbyistycznych zwanym robotyką BEAM (biologia, elektronika, estetyka i mechanika), popieranym przez Marka Tildena. Liczne strony internetowe robotów BEAM prowadzą zwolenników przez budowę obwodów, które powielają wrodzone, pozbawione pamięci odruchy i podatki.

MOTYWACJA

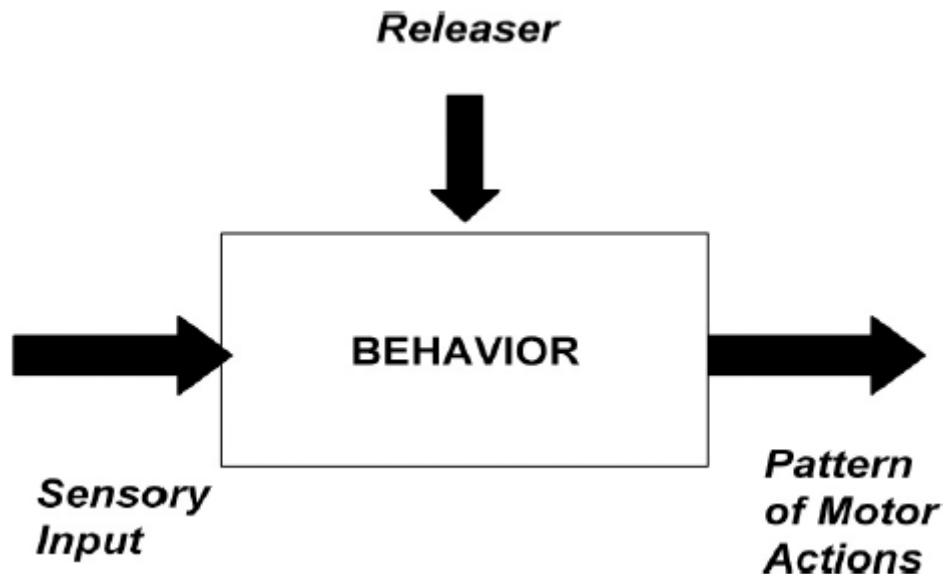
Ważną lekcją, którą można wyciągnąć z prac Lorenza i Tinbergena, jest to, że stan wewnętrzny i/lub motywacja agenta może odgrywać rolę w uwalnianiu zachowania. Bycie głodnym jest bodźcem odpowiadającym bólowi wywołanemu przez ostry przedmiot w otoczeniu robota. Innym sposobem patrzenia na to jest to, że motywacja służy jako bodziec do zachowania. Motywacje mogą wynikać z warunków homeostazy (takich jak głód) lub afektu (emocje). Jednym z najbardziej ekscytujących spostrzeżeń jest to, że zachowania można sekwencjonować, aby tworzyć złożone zachowania. Coś tak skomplikowanego jak łączenie się w pary i budowanie gniazda można rozłożyć na prymitywne lub z pewnością prostsze zachowania. Zdolność do rozkładania zachowań na prymitywne elementy ma odniesienie do inżynierii oprogramowania w robotyce.

Definicja wrodzonych mechanizmów uwalniania

WRODZONY MECHANIZM UWALNIAJĄCY

WYDAWCA

Lorenz i Tinbergen próbowali wyjaśnić swoje badania dotyczące koordynacji i kontroli zachowań, nadając temu procesowi specjalną nazwę, wrodzone mechanizmy uwalniania (IRM). IRM zakłada, że istnieje specyficzny bodziec (wewnętrzny lub zewnętrzny), który wyzwala lub wyzwala stereotypowy wzorzec działania. IRM aktywuje zachowanie. Zwolnienie to zatrask lub zmienna logiczna, którą należy ustawić. Jednym ze sposobów myślenia o IRM jest proces zachowań



W obliczeniowej teorii inteligencji wykorzystującej IRM, podstawowymi czarnymi skrzynkami procesu są zachowania. Przypomnij sobie, że zachowania odbierają bodźce sensoryczne i wywołują działania motoryczne. Ale IRM idą dalej i określają, kiedy zachowanie jest włączane i wyłączane. Wyzwalacz działa jako sygnał sterujący, aby aktywować zachowanie. Jeśli zachowanie nie zostanie uwolnione, nie reaguje na bodźce czuciowe i nie wytwarza sygnałów wyjściowych silnika. Na przykład, jeśli młode rybitwy popielate nie są głodne, nie dziobią niczego czerwonego, nawet jeśli w pobliżu znajduje się czerwony dziób. Innym sposobem myślenia o IRM jest prosty program komputerowy pokazany poniżej. Wyobraź sobie agenta uruchamiającego program w języku C z ciągłą pętlą while. Każde wykonanie przez pętlę powoduje, że agent porusza się na jedną sekundę. Wtedy pętla się powtórzy.

```
enum          Releaser={PRESENT, NOT_PRESENT};
Releaser      predator;
while (TRUE)
{
    predator = sensePredators();
    if (predator == PRESENT)
        flee();
}
```

W tym przykładzie agent robi tylko dwie rzeczy: wyczuwa świat, a następnie ucieka, jeśli wyczuje drapieżnika. Możliwe jest tylko jedno zachowanie: ucieczka. ucieczka jest uwalniana przez obecność drapieżnika. Drapieżnik jest typu Releaser i ma tylko dwie możliwe wartości: albo jest obecny, albo nie. Jeśli agent nie wykryje wyzwalacza dla danego zachowania, agent nie robi nic. Nie ma zachowania „domyślnego”. Ten przykład pokazuje również filtrowanie percepcji. W powyższym przykładzie agent szuka tylko drapieżników z dedykowaną funkcją wykrywania, sensePredators(). Dedykowana funkcja wykrywania drapieżników może być wyspecjalizowanym zmysłem (np. siatkówka jest wrażliwa na częstotliwość ruchów związanych z ruchem drapieżników) lub grupą neuronów, które działają jako odpowiedniki algorytmu komputerowego.

UWALNIACZE ZWIĄZKÓW

Inną ważną kwestią dotyczącą IRM jest to, że wyzwalacz może być mieszanką wyzwalaczy. Co więcej, wyzwalacz może być kombinacją bodźców zewnętrznych (z otoczenia) lub stanu wewnętrznego

(motywacja). Jeśli wyzwalacz w związku nie jest spełniony, zachowanie nie jest wyzwalane. Poniższy pseudokod pokazuje program zwalniający związek.

```
enum          Releaser={PRESENT, NOT_PRESENT};
Releaser      food, hungry;
while (TRUE)
{
    food = senseFood();
    hungry = checkState();
    if (food == PRESENT && hungry==PRESENT)
        feed();
}
```

Poniższy przykład pokazuje, co dzieje się w sekwencji zachowań, w której agent je, następnie karmi młode, potem śpi i powtarza sekwencję.

```
enum          Releaser={PRESENT, NOT_PRESENT};
Releaser      food, hungry, nursed, child;
while (TRUE) {
    food = sense();
    hungry = checkStateHunger();
    child = checkStateChild();
    if (hungry==PRESENT)
        searchForFood(); //sets food = PRESENT when done
    if (hungry==PRESENT && food==PRESENT)
        feed(); // sets hungry = NOT_PRESENT when done
    if (hungry== NOT_PRESENT && child==PRESENT)
        nurse(); // set nursed = PRESENT when done
    if (nursed ==PRESENT)
        sleep();
}
```

NIEJAWNE ŁAŃCUCHY

Zachowania są niejawnie połączone ze sobą przez ich wyzwalacze. Po napotkaniu pierwszego wyzwalacza pojawia się pierwsze zachowanie. Wykonuje się przez jedną sekundę (jeden interwał „ruchu”), a następnie kontrola przechodzi do następnej instrukcji. Jeśli zachowanie nie zostanie zakończone, zwalnicze pozostają niezmienione i nie jest wyzwalane żadne inne zachowanie. Następnie program przechodzi do góry i ponownie wykonuje oryginalne zachowanie. Kiedy pierwotne zachowanie zostało zakończone, stan wewnętrzny zwierzęcia mógł się zmienić lub stan środowiska mógł ulec zmianie w wyniku działania. Kiedy motywacja i otoczenie dopasowują się do bodźca wyzwalającego, wyzwalane jest drugie zachowanie i tak dalej. Przykład wzmacnia również charakter zachowań. Jeśli agent śpi i budzi się, ale nie jest głodny, co zrobi? Według stworzonych powyżej zwalniczy agent będzie tam siedział, dopóki nie poczuje się głodny. W poprzednim przykładzie zachowania agenta pozwalały mu wyżywić się i umożliwić przeżycie młodym, ale zestaw zachowań nie obejmował ucieczki lub walki z drapieżnikami. Ucieczkę przed drapieżnikami można by dodać do programu w następujący sposób:

```

enum          Releaser={PRESENT, NOT_PRESENT};
Releaser      food, hungry, nursed, child, predator;
while (TRUE) {
    predator = sensePredator();
    if (predator==PRESENT)
        flee();
    food = senseFood();
    hungry = checkStateHunger();
    child = checkStateChild();
    if (hungry==PRESENT)
        searchForFood();
    if (hungry==PRESENT && food==PRESENT)
        feed();
    if (hungry== NOT_PRESENT && child==PRESENT)
        nurse();
    if (nursed ==PRESENT)
        sleep();
}

```

Zauważ, że to ustawienie pozwoliło agentowi na ucieczkę przed drapieżnikiem niezależnie od tego, gdzie się znajdował w sekwencji karmienia, karmienia i snu, ponieważ drapieżnik jest sprawdzany jako pierwszy. Ale ucieczka jest tymczasowa, ponieważ nie zmienia stanu wewnętrznego agenta (może poza tym, że jest bardziej głodny, co pojawi się przy następnej iteracji). Kod może spowodować ucieczkę agenta na jedną sekundę, a następnie karmić się na jedną sekundę. Jednym ze sposobów na obejście tej przerywanej sekwencji ucieczki/karmienia jest zahamowanie lub wyłączenie wszelkich innych zachowań do czasu zakończenia ucieczki. Hamowanie można osiągnąć za pomocą instrukcji if-else:

```

while (TRUE) {
    predator = sensePredator();
    if (predator==PRESENT)
        flee();
    else {
        food = senseFood();
        hungry = checkStateHunger();
        ...
    }
}

```

Dodanie instrukcji if-else zapobiega wykonywaniu innych, mniej ważnych zachowań. Nie rozwiązuje problemu spowodowanego znikaniem wyrzutnika drapieżników podczas ucieczki agenta. Jeśli agent się odwróci i drapieżnik zniknie z pola widzenia (powiedzmy za agentem), wartość drapieżnika przejdzie do NOT_PRESENT w następnej aktualizacji. Agent wróci do żerowania, karmienia, karmienia lub spania. Ucieczka powinna być zachowaniem zgodnym z ustalonym wzorcem, które utrzymuje się przez pewien czas, T. Efekt działania zgodnego z ustalonym wzorcem można osiągnąć za pomocą:

```

#define T LONG_TIME
while (TRUE) {
    predator = sensePredator();
    if (predator==PRESENT)
        for(time = T; time > 0; time--)
            flee();
    else {
        food = senseFood();
        ...
    }
}

```

Przykłady kodu C zostały zaimplementowane jako niejawna sekwencja, w której kolejność wykonywania zależała od wartości wyzwalaczy. Oto implementacja tych samych zachowań z jawną sekwencją:

```

Releaser      food, hungry, nursed, child, predator;
while (TRUE) {

    predator = sensePredator();
    if (predator==PRESENT)
        flee();
    food = senseFood();
    hungry = checkStateHunger();
    child = checkStateChild();
    if (hungry==PRESENT)
        searchForFood();
    feed();
    nurse();
    sleep();
}

```

Wyraźna sekwencja na początku może być bardziej atrakcyjna dla koodera, ponieważ jest mniej zaśmiecona, a zwalnicze związków są ukryte. Ale ta implementacja nie jest równoważna z oryginalną niejawną sekwencją. Zakłada, że zamiast pętli wykonującej się co sekundę i zachowań działających przyrostowo, każde zachowanie przejmuje kontrolę i działa do końca. Zauważ, że agent nie może zareagować na drapieżnika, dopóki nie zakończy sekwencji zachowań. Wezwania do uciekającego zachowania mogą być wstawiane między każdym zachowaniem lub uciekanie może być przetwarzane na zasadzie przerywania. Ale każda „poprawka” sprawia, że program jest mniej ogólny i trudniejszy do zmodyfikowania i utrzymania. Najważniejsze jest to, że proste zachowania działające niezależnie mogą prowadzić do tego, co zewnętrzny obserwator postrzeżałby jako złożonej sekwencji działań.

Zachowania współbieżne

Ważną kwestią wynikającą z przykładów z IRM jest to, że zachowania mogą i często są wykonywane jednocześnie i niezależnie. To, co wydaje się być ustaloną sekwencją, może być wynikiem normalnej serii wydarzeń. Jednak niektóre zachowania mogą naruszać lub ignorować niejawną sekwencję, gdy środowisko przedstawia sprzeczne bodźce. W przypadku agenta-rodzica, ucieczka przed drapieżnikiem wykluczała się wzajemnie z zachowań związanych z karmieniem, karmieniem i spaniem. Ciekawe rzeczy mogą się zdarzyć, jeśli uwolnione zostaną dwa (lub więcej) zachowania, które zwykle nie są wykonywane w tym samym czasie. Wygląda na to, że te dziwne interakcje można podzielić na następujące kategorie:

RÓWNOWAGA

Równowaga (zachowania wydają się równoważyć się nawzajem): Rozważ karmienie zamiast ucieczki w wiewiórcę, gdy jedzenie jest wystarczająco blisko osoby na ławce w parku. Wiewiórka często wydaje się być wyraźnie niezdecydowana, czy iść po jedzenie, czy trzymać się z daleka.

PRZEWAGA

Dominacja jednego (zwycięzca bierze wszystko): jesteś głodny i śpiący. Robisz jedno lub drugie, a nie oba jednocześnie.

ANULOWANIE

Anulowanie (zachowania znoszą się wzajemnie): Samce ciernika (ryby), gdy ich terytoria się pokrywają, zostają złapane między potrzebą obrony swojego terytorium a potrzebą zaatakowania innych ryb. Więc samce tworzą kolejne gniazdo! Najwyraźniej bodźce znikają, pozostawiając tylko bodziec zwykle związany z budowaniem gniazda.

Niestety, wydaje się, że nie jest to dobrze zrozumiane, gdy stosuje się te różne mechanizmy sprzecznych zachowań. Oczywiście nie ma jednej metody. Ale wymaga to roboty, który pracuje z zachowaniami, aby zwracać szczególną uwagę na to, w jaki sposób zachowania będą oddziaływać. Różne podejścia do radzenia sobie z konfliktowymi zachowaniami spowodują różnice w architekturach w paradygmatach reaktywnych i hybrydowych, omówionych w późniejszych rozdziałach.

Dwie funkcje percepcji

UWOLNIENIE

PRZEWODNIK

Percepcja w zachowaniu spełnia dwie funkcje. Po pierwsze, jak widzieliśmy w przypadku IRM, uwalnia zachowanie. Jednak uwolnienie zachowania niekoniecznie jest tym samym, co druga funkcja: postrzeganie informacji potrzebnych do wykonania zachowania. Rozważmy na przykład zwierzę w pożarze lasu. Ogień aktywuje ucieczkę. Ale zachowanie uciekające musi wydobywać informacje o otwartych przestrzeniach, aby unikać przeszkód i kierować zachowaniem. Przestraszony jeleni może przemknąć obok myśliwego, najwyraźniej go nie zauważając.

PERCEPCJA NASTAWIONA NA DZIAŁANIE

W obu rolach jako wyzwalacza i przewodnika zachowania, percepcja filtruje nadchodzący bodziec dla danego zadania. Jest to często określane przez robotyków jako percepcja zorientowana na działanie, gdy chcą odróżnić swoje podejście percepcyjne od bardziej hierarchicznych globalnych modeli stylu percepcji. Często zwierzęta wykształciły wyspecjalizowane detektory, które upraszczają percepcję ich zachowań. Niektóre żaby, które cały dzień siedzą w wodzie z tylko połową oczu wystającą ponad linię wody, mają rozszczepioną siatkówkę: dolna połowa jest dobra do widzenia w wodzie, a górna w powietrzu.

Przykład: ukrywanie karaluchów

Karaluchy wykazują odruchowe zachowanie chowające się, które jest dość solidne w otwartym świecie. Owady te mogą uciec i znaleźć trudno dostępne nisze w ciągu kilku sekund, a mimo to mają niewiele mózgow. Ich zachowanie w ukryciu służy jako dobre studium przypadku, jak przełożyć spostrzeżenia behawioralne na programowanie robotów, rozkładając ogólne zachowanie na bardziej pierwotne zachowania, identyfikując wyzwalacze i niejawną sekwencję czynności z wrodzonymi mechanizmami uwalniania, rolę stanu wewnętrznego i percepcji, i identyfikowanie sposobu wyrażania za pomocą

notacji SR. Przykład kończy się omówieniem rozważań architektonicznych i ich dopasowania do systemów lub architektury technicznej.

Rozkład

Zachowanie chowające się, B można opisać w następujący sposób: Kiedy w pokoju, w którym znajduje się karaluch, zapala się światło, karaluch odwraca się i biegnie w kierunku ciemności. · Kiedy karaluch dotrze do „ściany” lub jakiegokolwiek innej przeszkody, takiej jak noga krzesła, podąża za „ścianą”. Jest to również taksówka, w której karaluch orientuje się na „ścianie”. Kiedy karaluch znajdzie „kryjówkę”, wchodzi do środka i zwraca się na zewnątrz. To kolejna taksówka, w której karaluch orientuje się na ścianie. Karaluchy są tigmotropiczne (lubią być ściskane), więc kryjówka to taka, w której występuje nacisk lub kontakt ze wszystkich stron. Następnie karaluch czeka, nawet jeśli wcześniej na jakiś czas gasną światła, po czym wychodzi. Jest to działanie o ustalonym wzorcu, ponieważ karaluch czeka, aby wznowić swoje działania, nawet jeśli pierwotny bodziec do ukrycia się (świeci się światło) zostanie usunięty. Projektanci dzielą zachowanie ukrywania się na trzy zachowania: ucieczka (β_{flee}), podążanie za ścianą ($\beta_{follow-wall}$) i ukrywanie się (β_{cover}). Rozkład jest arbitralny, ponieważ follow-wall można uznać za część ucieczki. W tym przypadku partycjonowanie jest napędzane przez różnice w percepcji. Wykrywanie światła różni się od wykrywania przeszkód, które z kolei wydaje się czymś innym niż wykrywanie kryjówek. Zachowanie ukrywania ilustruje również problematyczne przypisywanie arbitralnych nazw dla zachowań komponentów. Ogólne zachowanie się ukrywa, ale ostatnia czynność kulenia się w szczelinie językowo określa się mianem ukrywania się. Zamiast nazywać B „ukrywającym się”, a jedno z trzech zachowań składowych to „ukryj”, zamiast tego wybrano „ukrywanie się”, aby uniknąć nieporozumień. Nazwy zachowań są zasadniczo nazwami funkcji, a zatem zachowania mogą mieć dowolne nazwy. W notacji schematu zachowanie ukrywania wyraża się jako:

$$B = \begin{bmatrix} \beta_{flee} \\ \beta_{follow-wall} \\ \beta_{cover} \end{bmatrix}$$

Identyfikacja wydawców

Zgodnie z teorią wrodzonego mechanizmu zwalniania, każde z trzech zachowań komponentów ma wyzwalacz. Wyzwalacz do ucieczki to „włączone światła”. Wyzwalacz do followwall jest „zablokowany”, ponieważ gdy karaluch napotka przeszkodę, odwraca się i zaczyna podążać za przeszkodą z jednej strony. Wyzwalacz „ukryj” występuje, gdy karaluch podąża za ścianą i znajduje się w ciasnym miejscu lub „otoczony”. Jednak te trzy wyzwalacze nie zapewniają dokładnieżądanego ogólnego zachowania. Brakuje bodźca dla wzorca działania stałego. Gdy zapalą się światła, karaluch biegnie, aż znajdzie kryjówkę lub się podda. W ten sposób wszystkie trzy zachowania mogą się utrzymywać, a nie tylko zachowanie „ukrywanie się”. Ponadto wyzwalacze są takie, że jeśli karaluch zostanie zablokowany, musi zacząć podążać za przeszkodą, a jeśli jest ciasna przestrzeń, musi się tam zatrzymać i schować. Działania te mogą być zawsze odpowiednie dla karalucha do wykonania, ale chcemy zachować zakres zachowań w określonych warunkach i nie zmuszać karalucha do działania w nieprzewidzianych sytuacjach. Jednym ze sposobów uchwycenia za pomocą IRM, że ogólne zachowanie ukrywania się utrzymuje, jest użycie stanu wewnętrznego. W takim przypadku karaluch może mieć wewnętrzny stan „Przestraszony”, który ustawia wewnętrzny zegar, do którego mają dostęp trzy zachowania. Bodziec włączania światła zwalnia zachowanie ucieczki, ale także wywołuje SCARED stan wewnętrzny. SCARED jest lepszym sposobem na wyzwolenie ucieczki, ponieważ upraszcza sposób, w jaki karaluch może uciekać przez pewien czas, nawet jeśli światła zostaną

wyłączone. Teraz zwalnicz dla follow-wall jest zablokowany && SCARED, a dla hide jest otoczony && SCARED. Gdy czas na bycie SCARED dobiegnie końca, zachowanie komponentu zostanie wyłączone. Teraz, gdy mamy wyzwalacze, PRZESTRASZONE, zablokowane i otoczone, możemy przejść do określania schematów percepcyjnych i motorycznych oraz ich wyników. Akcja związana z zachowaniem ucieczki polegała na odwróceniu się i ucieczce. Z perspektywy obliczeniowej instrukcje te są niejasne. Ile stopni się obróciło? Jak to zmierzyło, że obróciło się wystarczająco? Jeśli karaluch ma schemat percepcyjny do wykrywania najjaśniejszego obszaru, można by go użyć do odwrócenia się o 180° okrąg od tego obszaru. Ale co, jeśli schemat percepcyjny nie jest wiarygodny, na przykład pokój z równomiernym oświetleniem? Zamiast tego w tym przypadku projekt zakłada, że karaluch obróci się o losową liczbę stopni, a następnie ucieknie, co nazwiemy schematem silnika „obróć i przesuń”. W robocie stopień skrętu może być kontrolowany za pomocą enkoderów lub może być po prostu skręceniem w czasie, w zależności od zaawansowania robota. Zauważ, że schemat silnika skrętu i ruchu może być przydatny w innych sytuacjach, więc możemy go uogólnić (jeśli chcemy), pozwalając, aby stopień skrętu był argumentem wejściowym:

turn – and – move(degree = RANDOM)

Schemat percepcyjny w ucieczce jest NULL w powyższym sformułowaniu, ponieważ obrót i ruch (LOSOWY) nie wymaga wykrywania, a schemat motoryczny wykonuje ruch aż do zakończenia czasu SCARED. Jednak schemat percepcyjny można również zaimplementować jako funkcję random-direction, która zwraca liczbę LOSOWĄ w promieniu skrętu dla tego robota. Takie podejście może pomóc w tworzeniu bibliotek schematów, które można wykorzystać w przyszłości do innego zachowania lub robota. Schemat silnika można zapisać ze schematem percepcyjnym jako argumentem jako:

turn – and – move(random – direction(TURNING – RADIUS))

Akcja związana z zachowaniem podążania za ścianą polega na skręceniu w lewo lub w prawo po zablokowaniu robota, a następnie skierowaniu robota za „ścianą”. Jeśli robot jest pokryty czujnikami wstrząsów, może wykryć, że jest zablokowany, obrócić się, a następnie ruszyć, aby utrzymać kontakt za pomocą czujników wstrząsów, podobnie jak prawdziwe karaluchy używają swoich anten. Nazwiemy to schematem silnika z podtrzymaniem kontaktu. W robotach z przybliżonym czujnikiem zbliżeniowym, takim jak czujniki wstrząsów lub powolne cykle aktualizacji czujnika, użycie dotykowego wykrywania zbliżeniowego powoduje ruch huśtawki lub pijanego żeglarza, w którym robot zbliża się zbyt blisko ściany, odwraca się, traci kontakt ze ścianą, po czym odwraca się z powrotem do ściany. Schemat silnika dla follow-wall można wyrazić jako wywołanie funkcji, z przybliżeniem (bump) schematu percepcyjnego:

maintain – contact(proximity(bump))

Działanie polegające na kuleniu się można uchwycić za pomocą schematu silnika zorientowanego z równym ciśnieniem oraz schematu percepcyjnego, który wyczuwa nacisk na powierzchnię robota. Alternatywnie można zastosować układ czujników dotykowych lub stykowych albo czujniki zbliżeniowe IR. W takim przypadku zakłada się, że czujnik uderzeniowy:

orient – even – pressure(pressure – pattern(bump))

Jeśli karaluch robota nie czuje wystarczającej presji, nisza nie jest wystarczająco duża. Chcielibyśmy, żeby płoć odrzuciła niszę i dalej szukała. Ciśnienie „wystarczające” można wyrazić jako parametr progowy.

orient – even – pressure(pressure – pattern(bump), threshold)

Należy zauważyć, że siła bodźca może być różna i może prowadzić do zachowań wyłaniających się. W dotychczasowych przykładach bodziec był dyskretny, obecny lub nieobecny, a agent reaguje w sposób binarny (włączony lub wyłączony). Wracając do rybitw popielniczych, rozważ atrakcyjność czerwieni. Im większy czerwony obszar, tym większy wysiłek rybitwa może włożyć w jej dziobanie. Rybitwa może wykonać ostrzejszy zwrot w jej kierunku lub dziobać z większą siłą, co przekłada się na większy zysk dla aspektów tych działań. Jest to przykład bodźca jako funkcji ciągłej, a silniejsze bodźce prowadzą do silniejszych reakcji. Łatwo wyobrazić sobie różne funkcje jako odpowiedzi na bodźce. Powszechna jest zależność liniowa. Na przykład wysiłek, jaki rybitwa wkłada w dziobanie, może być proporcjonalny do procentu pola widzenia oznaczonego kolorem czerwonym. Siła bodźca S jest zapisana jako

$$S = (p, \lambda)$$

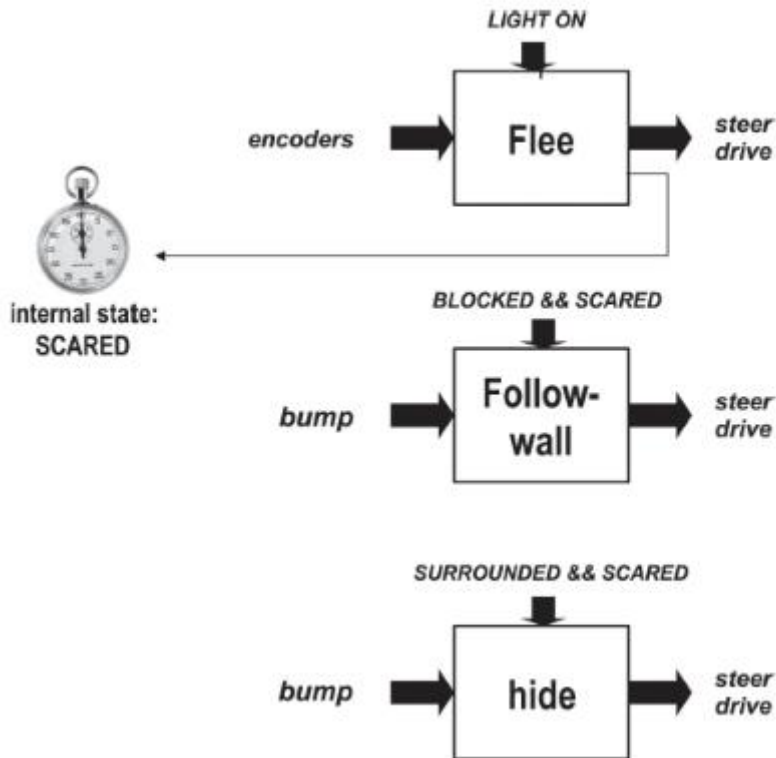
gdzie p to percept, a λ to siła p . W notacji S-R bodziec dla zachowania skóry karalucha można zapisać jako:

$$S = \left[\begin{array}{c} \text{SCARED}1.0 \\ (\text{BLOCKED}, \text{SCARED})1.0 \\ (\text{SURROUNDED}, \text{SCARED})\text{percent} - \text{surrounded} \end{array} \right]$$

Zauważ, że zachowania ucieczki i podążania za ścianą są ważone z pełną siłą, ale ilość wysiłku, który zostanie włożony w zachowanie kuli, będzie funkcją tego, jak czuje się otoczony robotem.

AKTYGRAMY

Aktygramy zachowań pokazano na rysunku. Stan wewnętrzny jest pokazywany jako zmienna globalna. Aktigram to konwencja graficzna z inżynierii oprogramowania, w której przekształcenie lub działanie obliczeniowe jest reprezentowane jako pudełko. Wejścia i wyjścia są pokazane wchodząc i wychodząc z pudełka na osi X, a sterowanie lub inne parametry są pokazane na osi Y. Etołodzy używają podobnej konwencji graficznej zwanej etnogramem;



Utajone kontra jawne sekwencjonowanie

Wyrażenie ogólnego zachowania ukrywania w notacji S-R (poniżej) pomaga nam wizualizować zachowania komponentów jako niezależne i niejawnie sekwencjonowane.

$$B_{hide} \begin{bmatrix} flee \\ follow - wall \\ cower \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} SCARED1.0 \\ (BLOCKED, SCARED)1.0 \\ (SURROUNDED, SCARED)percent - surrounded \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} turn - and - move(random - direction(TURNING - RADIUS)) \\ maintain - contact(proximity(bump)) \\ orient - even - pressure(pressure - pattern(bump), \\ percent - surrounded) \end{bmatrix}$$

Niejawna sekwencja polega na tym, że włączenie światła wyzwała stan wewnętrzny, który następnie zwalnia zachowanie skrętu i ruchu. Jeśli stan wewnętrzny jest nadal aktywny, a robot napotka przeszkodę, zachowanie kontaktu utrzymywania jest zwalniane. Jeśli robot SCARED natrafi na niszę, w której jest częściowo otoczony, następuje zwolnienie orientacyjnego nacisku. Jednak ta sekwencja jest niejawna, a karaluch robota może zacząć od ściany i przejść bezpośrednio do funkcji keepcontact(). Wszystkie trzy zachowania mogą być uwalniane w dowolnej kolejności lub jednocześnie, więc sekwencja jest ukryta, a nie jawna. Rezultatem jednoczesnej interakcji trzech zachowań prawdopodobnie byłoby wepchnięcie robota w niszę. Próba ucieczki (ucieczka) może wepchnąć robota dalej w niszę i to z chęcią aby utrzymać kontakt, wjeźdź robotem jeszcze głębiej. Z drugiej strony, interakcja może być wyraźnie modulowana przez mechanizmy koordynacyjne, takie jak hamowanie,

gdzie zachowanie orientacji i parzystości może wyłączyć dwa pozostałe zachowania. Więcej mechanizmów koordynacji zostanie omówionych w następnej części. Jednak w odniesieniu do koordynacji obowiązuje zasada, że mniej znaczy więcej. Próby sztywnego narzucenia automatu skończonego dużym zestawom zachowań mogą dawać nieoczekiwane wyniki z powodu niepowodzenia w identyfikacji wszystkich możliwych stanów i przejść.

Postrzeżenie

Zachowanie związane z ukrywaniem się karaluchów jest przykładem dwóch ról, jakie odgrywa percepcja i sposobu, w jaki czujniki są współdzielone. Percepcja jest wykorzystywana do wyzwalaczy, w tym przypadku percepcja światła, która prowadzi do wewnętrznych wyzwalaczy stanu SCARED, i kontaktu przez czujniki uderzeń, co prowadzi do wyzwolenia zachowania podążania za ścianą lub kuli. Jednak czujniki uderzeń służą również do kierowania wykonywaniem zachowań podążania za ścianą i kulenia się. Follow-wall wykorzystuje przednie czujniki wypukłości jako sposób postrzegania swojego schematu silnika z kontaktem podtrzymującym. Firma Cower wykorzystuje cały zestaw czujników uderzeń jako sposób postrzegania swojego schematu silnika zorientowanego na równe ciśnienie. Oba zachowania są niezależne i nie mają świadomości, co robią inne zachowania z wejściem czujnika. Postrzeżenie SCARED jest interesujące. W tym przypadku jest to stan wewnętrzny, który opiera się na postrzeganiu świata przez karalucha. Włączyło to światło. Łatwo sobie wyobrazić, że czas trwania wewnętrznego timera byłby powiązany z siłą bodźca, że jaśniejsze światło lub światło plus odgłos kroków wydłużyłoby ten czas. Licznik mógłby zostać odświeżony, a gdy utrzymywało się więcej dźwięków lub innych afordancji drapieźników, licznik czasu SCARED zostałby zresetowany. Siła stanu wewnętrznego jest podobna do wzmocnienia funkcji kontrolnej. W przykładzie z karaluchem stanem wewnętrznym SCARED był zegar. Ale licznik czasu można zresetować lub zwiększyć przez inne wpływy. Wpływy, które zwykle kojarzymy z emocją, na przykład strach, stres lub przywiązanie, nazywane są afektywnymi. Przetwarzanie afektywne i sposób, w jaki emocje mogą zostać włączone do robota w warstwie reaktywnej, deliberatywnej i interaktywnej, omówiono w części 18.

HOMEOSTAZA

Stan wewnętrzny jest również regulowany i pomaga regulować homeostazę. Zasada homeostazy polega na tym, że środek działa w celu utrzymania wewnętrznej równowagi. Przykładem z Arkin¹¹ jest głód, im bardziej agent jest głodny, tym większy priorytet mają zachowania, które bezpośrednio wpływają na zdobywanie pożywienia. Agent może mieć instancję tych samych zachowań, ale korzyści wynikające z tych zachowań zmieniają się dynamicznie, aby dostosować się do pragnienia. Głodny lew górski może zaatakować ofiarę, którą zwykle uważa za zbyt dużą, aby ryzykować spotkanie; wzrósł zysk z zachowań żywieniowych. W rezultacie reakcja na małe spostrzeżenia jest większa niż normalnie, a czas walki z ofiarą jest teraz dłuższy. Wzorzec działania jest taki sam, ale korzyści wynikające z potrzeby przywrócenia równowagi głodu zmieniły intensywność wzorca działania.

Rozważania architektoniczne

Przykład karalucha ma na celu wyjaśnienie pojęć w biologii i zilustrowanie, jak myśleć o nich obliczeniowo. Przykładem nie był proces projektowania oparty na zasadach, wykorzystujący rozkład ekologiczny, ale raczej sposób dodawania czujników. Projektowanie robotów behawioralnych zostanie szczegółowo omówione w części 19. Z perspektywy architektury systemów pytanie brzmi: gdzie te schematy i mechanizmy przynależą? Wracając do pięciu najczęstszych podsystemów omówionych w części 4 (planowanie, kartograf, nawigacja, schemat motoryczny i percepcja), tylko dwa są związane z robotyką opartą na zachowaniu. Podsystem Percepcja jest oczywiście biblioteką schematów percepcyjnych, a podsystem schematów motorycznych — biblioteką schematów motorycznych. Z perspektywy architektury technicznej biologia daje pewne wskazówki, co trafia do tych bibliotek.

Odpowiada na pytanie postawione w przeglądzie: Co dzieje się w schematach, zwłaszcza w schemacie percepcyjnym? Schematy percepcyjne to reprezentacje wiedzy do ekstrakcji, afordancji, wyzwalaczy i lokalnych miar stanu wewnętrznego, takich jak zegary. Stan wewnętrzny można wyliczyć i służyć jako zmienna globalna. Mimo że schemat zachowania składa się ze schematu percepcyjnego i motorycznego, schemat motoryczny jest często synonimem zachowania, biorąc pod uwagę, że wytwarza obserwowalne działanie zachowania. Biologia zapewnia również wgląd w koordynację. Jeśli chodzi o pytanie z przeglądu: Czy nie potrzebujesz jakiejś koordynacji, aby uzyskać złożone, wyłaniające się zachowanie? Odpowiedź brzmi, że wyraźna koordynacja nie jest konieczna. Mechanizmy behawioralne, takie jak stan wewnętrzny, wrodzone mechanizmy uwalniania i korzyści, mogą prowadzić do sprężystych zachowań bez wyraźnej koordynacji. Bardziej niejawne i jawne metody koordynacji omówiono w następnym rozdziale.

Podsumowanie

Zachowanie jest podstawowym elementem inteligencji biologicznej i będzie służyć jako podstawowy składnik inteligencji w większości systemów robotów. Zachowanie definiuje się jako mapowanie bodźców zmysłowych (SENSE) do wzorca działań motorycznych (ACT), które następnie są wykorzystywane do wykonania zadania. Teoria schematów jest dobrą lokalną reprezentacją wiedzy proceduralnej, zarówno do odgrywania zachowania, jak i działania w celu uzyskania lepszej percepcji, co nazywa się percepcją aktywną. Notacja S-R jest dobrym mechanizmem do komputerowego wyrażania schematów. Niejawne tworzenie łańcuchów eliminuje planowanie (PLAN). Wrodzone Mechanizmy Uwalniania to jeden z modeli tego, jak zachowania mogą się pojawiać bez konstrukcji obliczeniowej planowania, globalnego modelu świata lub pamięci. IRM modelują inteligencję na poziomie 2 teorii obliczeniowej, opisując proces, ale nie implementację. W IRM wyzwalacze aktywują zachowanie. Wyzwalacz może być albo stanem wewnętrznym (motywacją) i/lub bodźcem środowiskowym. Niestety, IRM nie sprawiają, że interakcje między współbieżnymi lub potencjalnie współbieżnymi zachowaniami są łatwe do zidentyfikowania lub diagramu, a osąd projektanta musi wejść w grę. Percepcja w zachowaniach pełni dwie role, albo jako wyzwalacz dla zachowania, albo jako percepcja, która kieruje zachowaniem. Ta sama percepcja może być używana zarówno jako wyzwalacz, jak i przewodnik; na przykład ryba może reagować na przynętę i podążać za nią przed uderzeniem. Percepcja może mieć powiązaną intensywność lub siłę bodźca, co również wpływa na schemat motoryczny; na przykład ryba może mocniej uderzać w przynętę lub gonić ją dłużej, jeśli przedstawia ona silniejszą zdobycz. Oprócz sposobu, w jaki wykorzystywana jest percepcja, wydaje się, że istnieją dwie ścieżki przetwarzania percepcji. Ścieżka bezpośredniej percepcji wykorzystuje afordancje: dostrzegalne możliwości działania tkwiące w środowisku. Afordancje są szczególnie atrakcyjne dla robotyków, ponieważ można je wydobyć bez wnioskowania, pamięci lub reprezentacji pośrednich. Drugim ważnym aspektem afordancji jest to, że ich obecność w środowisku nie zobowiązuje do działania. Na przykład obecność wystarczająco dużej czerwonej plamki dawała młodemu rybitwowi możliwość karmienia, na które działa, gdy jest głodna. Obecność powierzchni, na której można usiąść, nie oznacza, że usiądzie na niej robot; w rzeczywistości robot filtrowałby percepcję powierzchni, na której można usiąść, dopóki nie pojawiła się potrzeba (uwolnienie) siedzenia. Ścieżka rozpoznawania wykorzystuje pamięć i globalne reprezentacje do identyfikowania i oznaczania konkretnych rzeczy na świecie.

Ważnymi zasadami robotyki AI, które można wydobyć z naturalnej inteligencji, są:

* Agenci powinni rozkładać złożone działania na niezależne zachowania (lub obiekty), które ściśle łączą odczuwanie i działanie. Zachowania są z natury równoległe i rozproszone.

* Aby uprościć kontrolę i koordynację zachowań, agent powinien polegać na prostych, logicznych mechanizmach aktywacji (np. wrodzonych mechanizmach uwalniania) w porównaniu z regułami lub automatami skończonymi, gdy tylko jest to możliwe. Jednak czasami używa się automatów skończonych, przy czym automat stanów stanowi część wiedzy proceduralnej lub metody w schemacie behawioralnym. Niejawne tworzenie łańcuchów eliminuje planowanie i utrzymywanie pamięci o przeszłych stanach poprzez wrodzone mechanizmy uwalniania, a niejawne tworzenie łańcuchów może osiągnąć część, ale nie całość, kontroli behawioralnej. Wolimy robić jak najwięcej z zachowaniami odruchowymi, które wykorzystują tylko informacje z teraźniejszości.

* Aby uprościć odczuwanie, percepcja powinna filtrować wrażenia i brać pod uwagę tylko to, co jest istotne dla zachowania (percepcja zorientowana na działanie).

* Bezpośrednia percepcja (afordancje) zmniejsza złożoność obliczeniową odczuwania i pozwala na działanie bez pamięci, wnioskowania lub interpretacji.

* Zachowania są niezależne, ale wyniki jednego a) mogą być połączone z innym, aby uzyskać wynikowy wynik, lub b) mogą służyć do hamowania innego (współzawodnictwo). Hamowanie jest kluczowym elementem Architektury Subsumcji, która zostanie omówiona w Części 8.

Należy również pamiętać, że naturalna inteligencja nie odwzorowuje idealnie potrzeb i realiów programowania robotów. Jedną z głównych zalet inteligencji zwierząt nad inteligencją robotów jest ewolucja. Zwierzęta ewoluują w sposób, który prowadzi do przetrwania gatunku. Ale roboty są drogie i w danym momencie buduje się ich tylko niewielką liczbę, co jest sprzeczne z ewolucją. Dlatego poszczególne roboty muszą „przeżyć”, a nie gatunki. Wywiera to ogromną presję na projektantów robotów, aby za pierwszym razem wykonali właściwy projekt. Brak presji ewolucyjnych przez długi czas sprawia, że roboty są niezwykle podatne na błędy projektowe spowodowane słabą znajomością ekologii robota. Część 19 zawiera studium przypadku robota, który został zaprogramowany przy użyciu afordancji bieli, aby podążał za białymi liniami w zawodach podążania ścieżką. Robota odwracały uwagę białe buty sędziego. Na szczęście ta wada projektu została zrekompensowana, gdy robot wrócił na kurs, reagując na rząd białych mleczy w nasionach.