

Funkcjonalność interaktywna

- * Wymień i opisz siedem wyzwań w projektowaniu systemów wielorobotowych.
- * Wymień i opisz kluczowe aspekty zadania systemu wielorobotowego, które mają wpływ na wybór systemu wielorobotowego.
- * Wymień i opisz elementy wymiaru koordynacji i wymiarów systemu, które należy wziąć pod uwagę podczas projektowania systemu wielorobotowego.
- * Wymień pięć najczęściej występujących zespołów wielorobotowych w systemach wielorobotowych i podaj co najmniej dwa przykłady każdego z nich.
- * Opisz różnice między komunikacją pośrednią a komunikacją bezpośrednią i podaj przykłady każdej z nich.
- * Jeśli otrzymasz opis zamierzonego zadania, zbiór robotów i dozwolone interakcje między robotami, zaprojektuj system wieloagentowy i opisz system pod względem zadania, koordynacji i wymiarów systemu.
- * Podaj przykłady systemów wielorobotowych, które tworzą zbiorowe roje lub celowo współpracują.
- * Zdefiniuj robotykę roju, rozproszone rozwiązywanie problemów, sieci czujników, roboty rekonfigurowalne, robotykę w chmurze, stygergię, zakłócanie zadań, protokół sieci kontraktowej i roboty sieciowe.
- * Wyjaśnij wpływ ignoranckiego współistnienia, świadomego współistnienia i inteligentnych typów współistnienia reguł społecznych na zachowanie nowych systemów wielorobotowych.

SYSTEMY MULTIROBOTOWE

Zbiory dwóch lub więcej robotów mobilnych współpracujących ze sobą są określane jako systemy wielorobotowe (MRS). W rozdziale omówiono często zadawane pytania dotyczące systemów wielorobotowych. Najbardziej podstawowe pytanie brzmi: do czego nadaje się wiele robotów? Innym często zadawanym pytaniem jest: Czy istnieją różne rodzaje wielu zespołów robotów - zespoły, które działają jak roje owadów i zespoły, które wykorzystują bardziej skomplikowaną inteligencję? W tym rozdziale omówimy różnice między zespołami wielorobotowymi pod względem zadań, koordynacji i wymiarów systemowych. Każda wzmianka o rojach prowadzi w końcu do: Czy kiedykolwiek możesz mieć za dużo robotów? Część wprowadza pojęcie interferencji zadań. Projektanci często zastanawiają się: Czym różni się programowanie wielu robotów od programowania pojedynczego robota? Część przeformułuje to pytanie w kategoriach trzech warstw kanonicznej architektury operacyjnej. Część zaczyna się od wyliczenia możliwości lub korzyści oferowanych przez system wielorobotowy, ale także odnotowuje wyzwania związane z realizacją tych korzyści. Następnie część umieszcza systemy wielorobotowe w szerszym kontekście sztucznej inteligencji systemów wieloagentowych i rozproszonej sztucznej inteligencji. Mając już gotowe podstawy intelektualne, część skupia się na szczegółach projektowania systemu wielorobotowego. Najpierw mówi o dopasowaniu systemu wielorobotowego do zadania, a następnie wyjaśnia, jak zaprojektować koordynację i atrybuty systemowe poszczególnych platform. Zadania, koordynacja i możliwości systemu są spore, ale tu omówiono pięć najczęściej występujących MRS. Część zawiera następnie przegląd różnych strategii programowania zespołu, odnosząc się do warstw architektury operacyjnej wprowadzonych w Części 4. Kozdział kończy się podsumowaniem i przeglądem odpowiedzi na najczęściej zadawane pytania, a kończy listą otwartych zagadnień w AI dla systemów wielorobotowych.

Cztery możliwości i siedem wyzwań

Nowicjusze badający systemy wielorobotowe często nie doceniają możliwości lub wyzwań, ponieważ biorą pod uwagę tylko kolektywy przypominające owady lub próbują powielać wysokowydajne zespoły ludzkie. Zamiast rozważać tylko inspirację biologiczną, w tej sekcji próbujemy opisać zalety i wyzwania wszystkich typów zespołów wielorobotowych.

Cztery zalety MRS

ROBOTY ROBOTÓW

Systemy Mulirobot są pożądane z co najmniej czterech powodów. Jednym z powodów MRS jest to, że wiele robotów może być tańszych lub szybszych niż jeden robot. Podobnie jak mrówki i inne owady, wiele tanich robotów współpracujących ze sobą może zastąpić jednego drogiego robota, czyniąc wieloagenty bardziej opłacalnymi. W przypadku odkrywców planet czy usuwania min lądowych, wiele tanich robotów powinno być w stanie szybciej pokryć większy obszar. Rzeczywiście, pojęcie roju robotów powszechnie odnosi się do dużej liczby robotów pracujących nad jednym zadaniem. Roboty roju często powielają mechanizmy wykorzystywane przez owady, ryby i ptaki do generowania inteligentnych wyłaniających się zachowań względnie nieinteligentnych osobników. Drugim powodem MRS jest to, że w przypadku niektórych zadań, które są zbyt złożone dla pojedynczego robota, złożoność można zmniejszyć dzięki robotom pracującym równolegle. Wracając do przykładu eksploracji planet, trudno wyobrazić sobie pojedynczego robota mapującego całą planetę. Ale mapowanie planety za pomocą wielu mniejszych robotów wydaje się bardziej wykonalne. Jednak roboty pracujące równolegle nie zawsze oznaczają, że są po prostu egzemplarzami tego samego robota wykonującego te same zachowania w innym miejscu. Zestaw robotów może przeszukiwać planetę, podczas gdy inny zestaw robotów zbudował bazę pod przyszłe ludzkie mieszkanie, jak opisano w fikcji w nagrodzonej książce Kim Stanley Robinson „Czerwony Mars”. Trzecim powodem, dla którego MRS są pożądane, jest niezawodność dzięki redundancji: jeśli jeden robot ulegnie awarii lub zostanie zniszczony, inne roboty mogą kontynuować i wykonać pracę, choć być może nie tak szybko i nie tak wydajnie. W słynnym raporcie technicznym zatytułowanym „Szybko, tanio i poza kontrolą” Rodney Brooks z MIT zaproponował, aby NASA wysłała na Marsa setki niedrogich, przypominających mrówki, reaktywnych robotów. Brooks twierdził po części, że posiadanie wielu robotów oznacza, że kilka robotów może zostać zniszczonych podczas transportu lub podczas lądowania bez rzeczywistego wpływu na powodzenie całej misji. Ten wniosek przypomina przykład z minami lądowymi: jeśli jeden tani robot w roju zostanie wysadzony w powietrze, rozminowanie może nadal trwać. Wreszcie, niektóre zadania są z natury rozdzielone i dlatego wymagają MRS. Drużyna sportowa składa się z rozproszonych pojedynczych agentów, którzy mają do odegrania specjalizację lub rolę. Na przykład w piłce nożnej trudno wyobrazić sobie połączenie bramkarza, napastników i obrońców w jednego robota, ponieważ robot musiałby znajdować się w wielu miejscach jednocześnie. Należy jednak pamiętać, że dana osoba może zmienić swoje zadanie lub rolę, aby przejąć inną pozycję, ponieważ ludzie oczekują od robotów takich samych zdolności adaptacyjnych. W wyścigach sztafetowych zadanie podzielone jest na role i czynności, które muszą wystąpić w sekwencji i muszą być wykonywane przez jednostki; tworzy to czasową współzależność między agentami. Podział odpowiedzialności między poszczególne roboty w systemie wielorobotowym jest ogólnie określany mianem przydzielania zadań.

Siedem wyzwań w MRS

Chociaż MRS oferują robotom nowe możliwości, stwarzają również nowe wyzwania w zakresie programowania inteligencji robotów, ponieważ interakcja obejmuje coś więcej niż tylko stworzenie

jednego kompetentnego robota. Od lat 80. badacze, tacy jak Arkin Bond i Gasser, Brooks, Oliveira i in. oraz Parker, przytaczają następujące problemy z zespołami złożonymi z wielu agentów:

1. Podstawowy projekt systemu jest trudniejszy. Projektant musi zdecydować, czy uczynić jednostkę bardziej inteligentną, czy bardziej inteligentną grupę. Projektant musi również rozpoznać cechy problemu, które sprawiają, że jest on odpowiedni dla wielu agentów.

WYJĄTKOWE ZACHOWANIA SPOŁECZNE

2. Wybór mechanizmów alokacji zadań jest trudny. Albo projektant wstępnie zaprogramuje, albo sami agenci dzielą zadania, generują plan MRS i wybierają członków, którym mają zostać przydzielone zadania. Rodzi to pytanie, jak wdrożyć alokację jako zachowania, behawioralne mechanizmy koordynacji lub funkcje deliberacyjne. Poszczególni członkowie zespołów wieloagentowych są zwykle zaprogramowani z zachowaniem zgodnie z paradygmatem Reaktywnym lub Hybrydowym Deliberatywno-Reaktywnym. Przypomnijmy, że zgodnie z paradygmatem reaktywnym wiele zachowań działających jednocześnie w robocie prowadziło do pojawiającego się zachowania. Na przykład robot może reagować na zestaw przeszkód w sposób, który nie został wyraźnie zaprogramowany. Podobnie w przypadku wielu agentów, jednoczesne - ale niezależne - działania każdego robota prowadzą do wyłaniających się zachowań społecznych. Zachowanie grupowe może różnić się od zachowania indywidualnego, naśladując „dynamikę grupy” lub prawdopodobnie „psychologię tłumu”.

3. Nie jest jasne, kiedy potrzebna jest komunikacja między agentami ani co powiedzieć. Chociaż zwierzęta mogą wyraźnie komunikować się, na przykład śpiew ptaków i sygnały, jak jeleń podnoszący ogon, by pokazać się na biało, wiele zwierząt gromadzi się w stadach lub w ławicach, utrzymując formację bez wyraźnej komunikacji. Kontrola formacji jest często dokonywana po prostu przez postrzeganie bliskości lub działań innych agentów; na przykład ryby szkolące się starają się trzymać jednakowo blisko ryb pływających po obu stronach. Jednak roboty i nowoczesna technologia telekomunikacyjna umożliwiają wszystkim agentom w zespole poznanie tego, co myślą inne roboty, choć kosztem obliczeniowym i sprzętowym. Jak wykorzystać tę niezrównaną zdolność komunikacji? Co się stanie, jeśli łącze telekomunikacyjne zepsuje się? Telefony komórkowe nie są w 100% niezawodne, mimo że konsumenci wywierają ogromną presję na telefony komórkowe. Istnieje wiele zachęt ekonomicznych do komunikacji robota, więc można bezpiecznie założyć, że komunikacja robota nie będzie całkowicie niezawodna. Czy istnieje język dla wielu agentów, który może wyabstrahować ważne informacje i zminimalizować wyraźną komunikację?

4. „Właściwy” poziom indywidualności i autonomii zwykle nie jest oczywisty w dziedzinie problemowej. Główną decyzją projektową jest określenie, kto będzie odpowiedzialny, na przykład kierownik centralny, przywództwo rozproszone lub brak przywództwa. Agenci o wysokim stopniu indywidualnej autonomii mogą powodować większą ingerencję w cele grupy, nawet do tego stopnia, że wydają się „autystyczni”. Ale agenci z większą autonomią mogą lepiej radzić sobie z otwartym światem.

ZAKŁÓCENIE ZADANIA

5. Istnieje możliwość zakłócenia zadania: efekt „zbyt wielu kucharzy psuje bulion”. Posiadanie większej liczby robotów pracujących nad zadaniem lub w zespole zwiększa prawdopodobieństwo, że poszczególne roboty mogą niechcący kolidować ze sobą, obniżając w ten sposób ogólną produktywność.

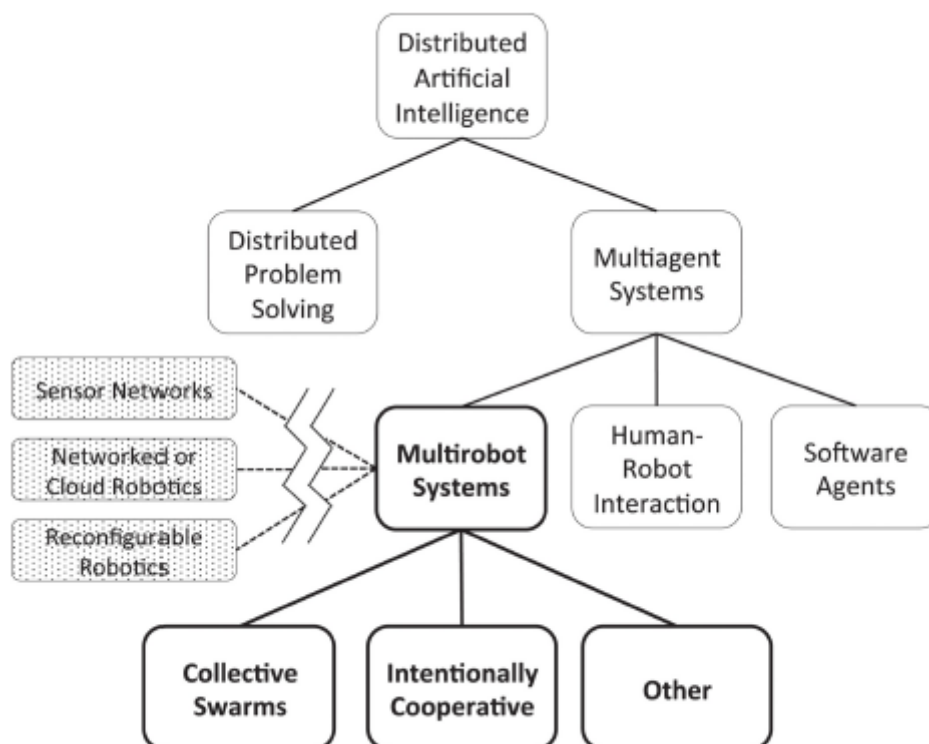
6. Monitorowanie MRS jest trudne, co utrudnia zespołowi rozpoznanie, kiedy on lub jego członkowie są nieproduktywni. Jednym z rozwiązań problemu „zbyt wielu kucharzy psuje bulion” jest próba tak skonstruowania zespołu, aby nie dochodziło do zakłóceń. Jednym z przykładów takiej inżynierii jest

posiadanie jednego scentralizowanego sterownika. Ale może to nie być możliwe dla każdego rodzaju zespołu. Istnieje również ryzyko utraty lub zniszczenia komunikacji ze scentralizowanym kontrolerem. Aby się bronić, zespół powinien być w stanie sam siebie monitorować, aby upewnić się, że jest produktywny. To z kolei wraca do kwestii komunikacji.

7. Trudniej jest stworzyć poprawne projekty zachowań i testy, które radzą sobie z niedeterminizmem behawioralnym. Poważnym wyzwaniem w projektowaniu MRS jest brak narzędzi do przewidywania i weryfikacji zachowań społecznych.

Systemy wielorobotowe i sztuczna inteligencja

Sukces systemów wielorobotowych w dużej mierze zależy od badań nad sztuczną inteligencją. MRS może wykorzystywać reprezentacje wiedzy, uczenie się, wnioskowanie, wyszukiwanie, planowanie i rozwiązywanie problemów oraz wizję komputerową. Ale co ważniejsze, badacze sztucznej inteligencji ogólnie postrzegają MRS jako podzbiór kluczowego obszaru rozproszonej sztucznej inteligencji (DAI). Rysunek przedstawia związek MRS i powiązanych badań z rozproszoną sztuczną inteligencją.



ROZPROSZONE ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW

SYSTEMY MULTIAGENTOWE

Powyższy rysunek pokazuje, że systemy wielorobotowe są specjalizacją rozproszonych badań nad sztuczną inteligencją. Rozproszona sztuczna inteligencja zazwyczaj koncentruje się na rozwiązywaniu problemów lub osiągnięciu celów poprzez strategie „dziel i rządź”. Za Stone i Veloso, 200 rozproszonych prac nad sztuczną inteligencją można podzielić na badania, które koncentrują się na rozproszonym rozwiązywaniu problemów lub systemach wieloagentowych. Rozproszone rozwiązywanie problemów próbuje określić najlepszy sposób rozłożenia zadania lub zsyntetyzować rozwiązanie z rozwiązań wniesionych przez wielu agentów. Badanie systemów wieloagentowych polega na podejmowaniu

decyzji, jak podzielić zadania lub odpowiedzialności między agentów, w szczególności określenie, któremu agentowi należy przypisać jakie zadanie i jak agenci współpracują. Rozproszone rozwiązywanie problemów można przeprowadzić na jednym komputerze za pomocą agentów oprogramowania. System wieloagentowy może wykorzystywać rozproszone algorytmy rozwiązywania problemów, które byłyby przydzielane agentom oprogramowania na różnych komputerach lub robotach. Badanie systemów wieloagentowych jest niezależne od tego, czy agent jest agentem oprogramowania, agentem znajdującym się fizycznie, czy też człowiekiem. Ponieważ istnieją różnice między agentami znajdującymi się w sieci i tymi, które działają w świecie fizycznym, rysunek pokazuje, że badania nad systemami wieloagentowymi są dalej podzielone, z badaniami nad agentami robotami zwanymi systemami wielorobotowymi (MRS). Nawet obszar systemów wielorobotowych jest zbyt duży i można go dalej podzielić na dwa główne obozy: zbiorowe roje i celowo współpracujące. Jednak, jak zobaczymy w tym rozdziale, istnieją inne możliwe warianty systemów wielorobotowych w oparciu o styl koordynacji i fizyczną implementację systemu. Istnieją trzy obszary związane z systemami wielorobotowymi, które niekoniecznie pojawiają się w książce lub konferencji na temat MRS

SIECI CZUJNIKÓW

* Sieci czujników to duża liczba czujników, które często obracają/pochylają, powiększają lub fizycznie poruszają się i zmieniają położenie w celu wykonania wspólnej czynności. Sieci czujników są czasami uważane za MRS, jeśli czujniki są robotami mobilnymi; albo roboty działają jako czujniki, albo roboty umieszczają czujniki w żądanych miejscach. Jednak sieci czujników mogą nie być znalezione w literaturze na temat MRS, ponieważ trudne problemy w sieciach czujników są związane z rozumowaniem przestrzennym potrzebnym do utrzymania zasięgu czujnika na pożądanym obszarze, a nie z ogólną inteligencją potrzebną do koordynowania systemu. Na przykład sieć czujników może wymagać dynamicznej adaptacji, ponieważ węzeł lub robot może z czasem ulec uszkodzeniu lub zostać zasłonięty przez jakiś obiekt poruszający się przed czujnikiem ponieważ robot śledzi poruszający się obiekt.

REKONFIGUROWALNE ROBOTY

* Roboty rekonfigurowalne składają się z wielu modułów, z których każdy może być traktowany jako niezależny robot, który można połączyć w celu stworzenia alternatywnej wersji robota. Roboty rekonfigurowalne są podobne do robotów z serialu telewizyjnego i filmowego Transformers. Jeden z pierwszych takich systemów nazywał się CEBOT od „systemu robota komórkowego” i składał się z małych identycznych robotów, które łączyły się, tworząc użytecznego robota. Niektóre roboty, takie jak CONRO, przypominają Transformers, ponieważ robot zmienia swoje moduły z długiego węża w konfigurację pajaka, aby lepiej poruszać się po otoczeniu. Inne roboty wyglądają bardziej jak siatka bloków, która zmienia kształt, aby wyrosnąć część, taka jak antena, która dostosowuje się do środowiska bezprzewodowego. Inne roboty wyglądają jak płaskie arkusze wielkości netbooka, które mogą się składać i rozkładać jak biało. Roboty rekonfigurowalne są podobne do MRS pod tym względem, że istnieje wiele modułów, które muszą ze sobą współpracować. Jednak w praktyce wyzwania algorytmiczne mają tendencję do ograniczania adaptacji.

ROBOTY W SIECI

ROBOTYKA W CHMURZE

* Roboty sieciowe lub robotyka w chmurze skupiają się na tym, jak sieci komunikacyjne mogą zapewnić funkcjonalność pojedynczego robota. Wyzwania dla tych systemów to tworzenie i utrzymywanie sieci oraz umożliwienie robotowi dostępu do sieci w celu uzyskania zasobów lub danych od innych robotów w celu realizacji swojej misji. Na przykład sieć czujników może mieć tak wiele węzłów i tak duże ilości

informacji, że ma duży potencjał do przeciążenia komunikacji; dlatego ważne jest posiadanie wydajnych algorytmów routingu i przepustowości.

Projektowanie MRS do zadań

ZADANIE SYSTEMU MULTIROBOT

Odnosząc się do nadrzędnego pytania w tej części, jak zaprojektować system wielorobotowy, warto powrócić do koncepcji niszy ekologicznej. Przypomnij sobie z części 6, że ekologiczne podejście do projektowania określa niszę, w której robot będzie pracował. Nisza jest definiowana jako zadanie robota, jego otoczenie i jego możliwości jako agenta. Ta sekcja koncentruje się na metodach definiowania zadania w sposób, który pomaga wyjaśnić wymagania projektowe. Balch opisuje zadanie systemu wieloagentowego, które sprowadza się do zadania systemu wielorobotowego, w kategoriach czterech osi: oczekiwania co do czasu potrzebnego na wykonanie zadania, przedmiot działania, ograniczenia ruchu i wszelkie niejawne lub wyraźne zależności między robotami podczas wykonywania zadania.

Oczekiwania czasowe dotyczące zadania

Jedną z zalet systemu MRS jest to, że może być szybszy; dlatego warto zastanowić się, ile czasu zajmie robotom wykonanie zadania. Te oczekiwania można podzielić na cztery kategorie:

- * Stały czas: zadanie, w którym MRS powinna zrobić jak najwięcej w pracy przed upływem terminu.
- * Minimalny czas: zadanie, w którym MRS powinien wykonać pracę tak szybko, jak to możliwe.
- * Nieograniczony czas: MRS nie jest ograniczony czasem i może zająć tyle czasu, ile potrzebuje do wykonania dobrej pracy.
- * Synchronizacja: członkowie MRS muszą zsynchronizować swoje przybycie w to samo miejsce w wyznaczonym czasie lub wykonać wspólne zadanie, takie jak pchanie pudełek.

Aby zobaczyć, jak czas wpływa na projekt MRS, rozważ zadanie „Zwołaj konferencję” w programie Robots Alive! odcinek Scientific American Frontiers. W tej konkurencji robot musiał przeszukać budynek biurowy, aby znaleźć pustą salę konferencyjną, a następnie udać się do każdej osoby, która musiała być na spotkaniu i dać im znać, kiedy i gdzie odbyło się spotkanie. Zwycięzcą został robot, który najszybciej znalazł pustą salę konferencyjną, a następnie poprawnie oszacował, ile czasu zajmie znalezienie wszystkich uczestników. Zespół z SRI International wykorzystał wiele robotów do wykonania zadania. Zadanie było zadaniem o minimalnym czasie, ponieważ głównym wynikiem była szybkość wykonania zadania. Zadanie można uznać za zadanie synchronizacji, ponieważ roboty dzieliły się swoimi informacjami o tym, gdzie znajdowała się pusta sala konferencyjna, ale roboty nie były ciasno połączone. Projekt SRI koncentrował się na zaprogramowaniu każdego robota tak, aby jak najszybciej mógł wykonać swoją część zadania, tak aby całość zadania została wykonana w jak najkrótszym czasie. Innym przykładem tego, jak czas wpływa na projekt MRS, jest humanitarne rozminowywanie, podczas którego grupa robotów przeszukuje teren w poszukiwaniu min lądowych. W tym przypadku ograniczenie czasowe jest nieograniczone. Celem jest, aby roboty były dokładne, bez względu na to, ile czasu to zajmie, ponieważ przegapienie miny może kosztować ludzi życie.

Przedmiot działania

Drugi wpływ zadania na projekt MRS jest przedmiotem działania. Istnieją dwa możliwe przedmioty działania dla MRS. Jednym z podmiotów działania jest obiekt (oparty na obiekcie), taki jak roboty grające w piłkę nożną w RoboCup, gdzie przedmiotem jest piłka. Drugim przedmiotem działania jest

sam robot (bazujący na robotach), np. zadanie mapowania, w którym roboty muszą lokalizować i mapować świat. W piłce nożnej przedmiotem zadania jest piłka. Roboty kierują swoimi ruchami względem piłki. Ruchy robota względem przeszkód i siebie nawzajem są drugorzędne w stosunku do większego celu, jakim jest poruszanie piłką. W mapowaniu opartym na współpracy zadanie dotyczy lokalizacji robotów. Jeśli roboty nie wiedzą, gdzie się znajdują i nie mogą śledzić swoich ruchów względem siebie, nie mogą zszyć mapy razem lub upewnić się, że nie powielają obszaru pokrycia. Aby zobaczyć, jak przedmiot działania wpływa na projekt MRS, wróć do zadania „Zwołaj konferencję”. Zadanie opiera się na robotach, ponieważ konkurencja jest zasadniczo zadaniem mapowania. Roboty muszą wiedzieć, gdzie mają wykonać zadanie. Ich działania nie opierają się na obiektach, chociaż celem jest znalezienie sali konferencyjnej, a następnie zlokalizowanie profesorów. Ich działania są zależne od tego, gdzie były i gdzie były inne roboty. Humanitarne rozminowywanie jest również zwykle oparte na robotach. Celem większości wdrożeń jest pokrycie obszaru, więc wyzwaniem jest określenie, w jaki sposób roboty powinny się poruszać i jakie obszary powinny obejmować. Kolektyw może zachowywać się jak stado owiec poruszających się losowo, co jest jedną ze strategii pokrywania obszaru.

Ruch

Pożądanym ruchem do wykonania zadania to trzecia kategoria projektowania MRS. Ruch można podzielić na cztery kategorie:

Zasięg: kolektyw rozciąga się, aby objąć jak największy obszar,

Konwergentny: kolektyw w końcu zbiegnie się lub spotka w miejscu lub obiekcie

Przejdź do: członkowie kolektywu mogą zaczynać w różnych miejscach, ale wszyscy przenoszą się do jednego punktu i

Ruch podczas : ruch zbiorowy z zachowaniem ograniczenia pozycyjnego, którym jest zwykle określona formacja, taka jak poruszanie się po linii, kolumnie, rombie lub klinie.

W konkursie „Call a Conference” poruszeniem zadania był zasięg, ponieważ konkurs starał się przeszukać teren biurowca, aby jak najszybciej znaleźć pustą salę konferencyjną. Humanitarne rozminowywanie prawdopodobnie byłoby również rodzajem ruchu, chociaż wdrożenie, w którym roboty poruszały się w linii przez pole, należałoby do kategorii ruchu podczas.

Zależność

Czwartą osią systemu wielorobotowego jest zależność między członkami kolektywu. Członkowie mogą być niezależni; roboty nie muszą ze sobą współpracować i nie muszą być świadome siebie nawzajem. Mogą być zależne, gdy do wykonania zadania potrzebnych jest wiele robotów, jak na przykład pchanie pudełek, gdy jeden robot nie może tego zrobić sam, lub roboty muszą być świadome siebie nawzajem, na przykład, gdy potrzebne są dwa roboty do przenoszenia ciężkiego przedmiotu. Elementy członkowskie mogą być również współzależne, gdy istnieje zależność cykliczna, taka jak operacja uzupełniania zapasów, w której główny robot wykonuje zadanie, ale potrzebuje innego robota, aby dostarczyć paliwo z bazy macierzystej. Główny robot nie może wykonać swojego zadania, dopóki robot uzupełniający nie dostarczy paliwa. Robot uzupełniający nie może wrócić do bazy domowej, dopóki nie uzupełni podstawowego robota. Tak więc pomimo tego, że oba roboty mają różne zadania, jeden robot nie może wykonać swojego zadania, dopóki drugi robot nie wykona swojego. Są więc współzależne. Zależność może być elastyczna i opierać się na tym, jak projektant konceptualizuje zadanie. Zadanie w konkursie „Call a Conference” było wyraźnie zależne, ponieważ roboty podzieliły między siebie zadanie. Jednak humanitarne zadanie rozminowania nie wymaga szczególnego rodzaju zależności. Jeśli projektant chce, aby roboty wędrowały i pokrywały teren losowo jak owce, członkowie byliby

niezależni. Jeśli projektant chciał, aby roboty zmiały teren w linii, to zadanie wymagałoby od robotów zależności.

Wymiar koordynacyjny projektu MRS

Zadanie, wraz ze środowiskiem i możliwościami robotów, ustanawia niszę ekologiczną, ale nie pomaga automatycznie w ustaleniu, w jaki sposób roboty mogą ze sobą współdziałać. Farinelli, Iocchi i Nardi75 konceptualizują taką interakcję w dwóch wymiarach: koordynacji i systemów.

WYMIAR KOORDYNACJI

Wymiar koordynacji obejmuje decyzje projektowe, które wpływają na interakcje członków zespołu; zasadniczo dotyczy tego, co sprawia, że kolektyw jest MRS, a nie tylko grupą robotów, które akurat są ze sobą kolokowane. Farinelli, Iocchi i Nardi identyfikują cztery elementy wymiaru koordynacji, które należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu MRS:

* Współpraca. MRS może współpracować lub konkurować w celu wykonania zadania. Współpracujące ze sobą MRS to systemy, w których roboty wyraźnie współpracują ze sobą, aby wykonać globalne zadanie, takie jak podnoszenie przedmiotu. MRS, które konkurują, obejmują roboty, które konkurują o wykonanie zadania, a robot, który zrobi to pierwszy, wygrywa. Konkurencyjne MRS są często używane do zadań wyszukiwania lub wyszukiwania żerowania.

* Wiedza, umiejętności. Poszczególne roboty mogą być świadome lub nieświadome obecności innych robotów w MRS. Na przykład robot może szukać przedmiotu. Kiedy roboty wyraźnie dzielą pracę i rozmawiają ze sobą (tj. współpracują), są świadome. Kiedy wiele jednorodnych robotów niezależnie postanawia wykonać to samo zadanie (tj. konkurować), mogą być nieświadome lub świadome. Zazwyczaj konkurencyjne roboty traktują inne roboty nie inaczej niż inne poruszające się obiekty; jest to wyraźny przykład nieświadomej koordynacji. Jeśli robot jest w stanie rozpoznać inne roboty i zmienia sposób, w jaki wykonuje swoje zadanie, w oparciu o to, co robią inne roboty, na przykład ptak dostosowujący swoją pozycję w stadzie lecącym w układzie V, jest tego świadomy. Roboty mogą wykazywać świadomą kategorię koordynacji, nawet jeśli nie komunikują się, nie dzielą informacji ani nie współpracują.

* Koordynacja. Koordynacja może być albo słaba, co oznacza domyślną koordynację, albo silna, gdy mechanizm koordynacji jest wyraźny. Ławica ryb jest słabo skoordynowana, ponieważ ryby nie są przypisywane do pływania obok określonego zestawu ryb, tylko do pływania w pobliżu innych ryb.

* Organizacja. Organizacja to algorytmiczne podejście do kontroli. Jednym z typów organizacji jest zaprojektowanie MRS tak, aby był silnie scentralizowany, gdzie jeden komputer kontroluje wszystkich członków.

Droidy bojowe B1 w Star Wars: The Phantom Menace były silnie scentralizowane, dzięki czemu Anakin Skywalker był w stanie wyłączyć wszystkie roboty, niszcząc statek kontrolny Federacji na orbicie wokół planety Naboo. Odwrotna sytuacja występuje tam, gdzie nie ma jednego kontrolera komputerowego, każdy członek MRS pracuje samodzielnie lub negocjuje z innymi i pojawia się ogólne zachowanie MRS. Rozproszona organizacja jest powszechna u zwierząt, a zwłaszcza u owadów. Trzeci typ organizacji jest słabo scentralizowany, co wiąże się z pewnymi aspektami zarówno silnie scentralizowanej, jak i rozproszonej organizacji. Przykładem jest scentralizowany kontroler przydzielający zadania grupom, a następnie pozwalający członkom na samodzielną pracę.

Wymiary systemów w projekcie

WYMIAR SYSTEMU

Wymiar koordynacji próbuje uchwycić strategiczne cechy związane ze sposobem, w jaki roboty działają jako MRS. Wymiar systemowy izoluje cechy fizyczne zespołu, które umożliwiają osiągnięcie pożądanej koordynacji. Farinelli, Iocchi i Nardi zidentyfikowali cztery typy cech fizycznych: komunikacja, skład zespołu, wielkość zespołu i architektura systemu. W tej sekcji zostaną opisane pierwsze trzy typy, podczas gdy architektura systemu zostanie omówiona w osobnej sekcji.

Komunikacja

KOMUNIKACJA POŚREDNIA

KOMUNIKACJA BEZPOŚREDNIA

Fizyczną cechą, która może mieć największy wpływ na projekt MRS, jest komunikacja. Komunikacja odnosi się zarówno do treści przekazu, czyli tego, co jest powiedziane, jak i sposobu komunikowania się, czyli tego, jak jest powiedziane. Treść jest różna, dlatego w tej podsekcji omówione zostaną tylko metody komunikacji MRS. Komunikacja może być postrzegana jako spektrum obejmujące sygnały pośrednie lub komunikację pośrednią, aż po bezpośrednią komunikację przypominającą konwersację. Metoda komunikacji opiera się na sposobie przesyłania wiadomości, który w robotyce odbywa się zazwyczaj przez sieć bezprzewodową, co z kolei prowadzi do obaw o zasięg i topologię komunikacji. Spektrum metod różni się w zależności od tego, którzy agenci mogą odbierać przekaz.

STYGMERGIA

* Stygmeryczny. Stigmergia to termin używany w biologii, aby opisać, w jaki sposób owady, takie jak mrówki, mogą komunikować się przez to, co pozostawiły w środowisku. Na przykład mrówki pozostawiające ślady feromonów są stygmeryczne. W stygmeryzacji agenci nie postrzegają się nawzajem, ale raczej wykrywają skutki swoich działań. Na przykład turysta łamie gałązki, aby zostawić ślady trasy, którymi mogą podążać inni wędrowcy. Każdy gatunek może napotkać wskazówki pozostawione przez inny gatunek, ale wskazówki i ich znaczenie są zazwyczaj interpretowane tylko przez innych przedstawicieli tego samego gatunku.

* Pasywna komunikacja. Komunikacja pasywna oznacza, że jeden agent przekazuje lub rozsyła wiadomość do wszystkich w nadziei dotarcia do innych członków swojego gatunku. Na przykład ptaki śpiewają, informując o obecności niebezpieczeństwa, lokalizacji pożywienia i zachęcając partnerów. Ptaki i inne zwierzęta mogą komunikować gotowość do reprodukcji poprzez upierzenie, kolor skóry lub obrzęk krocza. Wszystkie te wyrażenia są aktywne, ponieważ wymagają energii, ale są pasywne, ponieważ metoda jest pasywna w dotarciu do zamierzonego odbiorcy. Ptak nie wie, czy inny ptak usłyszy jego śpiew. Stygmerię można uznać za szczególny przypadek biernej komunikacji, w której nadawana wiadomość trwa, a nie zanika, gdy kończy się śpiew ptaków.

* Celowa wyraźna komunikacja. Celowa komunikacja jawna ma miejsce, gdy jeden agent komunikuje się bezpośrednio z określonym agentem za pomocą języka formalnego. Pies może warczeć na intruza, co jest w pewnym sensie celowe i wyraźne, ale intruz musi wywnioskować, że pies ma zamiar zaatakować; dlatego komunikacja jest niejawna. Ludzki strażnik mówiący „Zatrzymaj się i podnieś ręce do góry!” innej osobie jest wyraźną komunikacją określonej intencji.

W sztucznej inteligencji istnieje heurystyka, zgodnie z którą niewielka komunikacja między agentami może znacznie zwiększyć wydajność, ale zbyt duża komunikacja może spowolnić działanie lub spowodować jej kruchość. Rzeczywiście, kognywiści wykazali, że im wyższa wydajność zespołu ludzi, tym mniej jego członkowie polegają na celowej, wyraźnej komunikacji. Gracze w topowej drużynie sportowej mogą po prostu spojrzeć na siebie, aby wiedzieć, jaki jest efekt gry i czy ktoś jest gotowy na podanie. Krzyżąc „Jesteś gotowy?” jest znacznie wolniejszy niż patrzenie i obserwowanie, że drugi

gracz jest na pozycji i jest gotowy do przyjęcia piłki. Jeśli jest zbyt dużo gadania, gracze mogą się rozpraszać i popełniać błędy. Dudek opisuje dwa praktyczne problemy w komunikacji między członkami w systemie wielorobotowym:

* Zasięg komunikacji. Ogólnie rzecz biorąc, projektant musi zastanowić się, jak daleko od siebie są agenci. Czy mogą się widzieć lub słyszeć, aby móc korzystać z pasywnych metod komunikacji? Jeśli istnieje sieć bezprzewodowa, na jakich odległościach może zapewnić niezawodną komunikację wspierającą i jakie jest środowisko? Sieci bezprzewodowe mają limity transmisji, które częściowo zależą od odległości, a łączność wewnątrz struktur jest nieprzewidywalna.

* Topologia komunikacji. Czy system korzysta z mobilnej sieci ad hoc? Czy wybór mechanizmu komunikacji ogranicza jego możliwość nadawania lub komunikowania się bezpośrednio z innym członkiem MRS? Zły wybór topologii sieci wykorzystującej scentralizowany serwer komunikacyjny nakłada ograniczenia systemu scentralizowanego na system, który miał być systemem rozproszonym.

Skład MRS

JEDNORODNY MRS

HETEROGENICZNY MRS

MRS składają się albo z identycznych członków, które są jednorodnymi MRS, albo z nieidentycznych członków, które są heterogenicznymi MRS. Jednorodne zespoły są wyraźnie identyczne; to znaczy mają taką samą morfologię lub wygląd fizyczny. Przykładami jednorodnej MRS są dwa roboty w „Call a Conference” oraz grupy owczopodobnych robotów do rozminowywania. Przykładami heterogenicznego MRS są robot UGV z asystentem zaopatrzenia oraz zespoły UAV-UGV. Powszechnym błędem jest przekonanie, że jeśli grupa robotów ma identyczny sprzęt, to grupa jest jednorodną MRS. Jednak jednorodność oznacza, że członkowie mają identyczne oprogramowanie i sprzęt. Duża liczba identycznych robotów jest często nazywana rojem, co oznacza, że wszystkie roboty mają również identyczne oprogramowanie. W piłce nożnej RoboCup roboty mogą mieć tę samą morfologię, ale bramkarz może używać znacząco innego oprogramowania. Zatem ta konkretna MRS byłaby niejednorodna. Gdyby jednak każdy robot został zaprogramowany za pomocą identycznego oprogramowania, które zawierałoby wszystkie role, np. bramkarza, napastnika, obrońcy itd., MRS byłby jednorodny. Członkowie zespołu mają identyczny sprzęt i oprogramowanie, tylko różne części oprogramowania są tworzone dla poszczególnych robotów. Subtelny wyzwanie dla jednorodnej MRS jest to, że zużycie członków z biegiem czasu prowadzi do niejednorodności. MRS może początkowo być jednorodny, ale fizyczna degradacja lub awarie sprzętu i czujników mogą spowodować, że niektóre elementy będą wolniejsze lub niezdolne do wykonywania pewnych czynności. Na szczęście zanik możliwości pojedynczego członka zespołu nie stanowi problemu dla niektórych MRS i aplikacji. Na przykład, niektórzy członkowie roju mogą zacząć pracować wolniej lub całkowicie zawieść, ale jedną z korzyści roju jest to, że inni członkowie zwiększają swoje wysiłki, aby zastąpić zawodnego członka. W przypadku drużyny piłkarskiej inni członkowie mogą być zmuszeni do dynamicznej zmiany swoich ról, aby zrehabilitować porażkę kolegę z drużyny. Zwróć uwagę, że zmiana ról wymaga większego wyrafinowania w monitorowaniu wykonania i przydzielaniu ról niż w przypadku owadów. Heterogeniczne zespoły robotów są ogólnie uważane za roboty o różnej morfologii sprzętu i oprogramowania. Powszechnym heterogenicznym układem zespołowym jest posiadanie jednego członka zespołu z droższym i bardziej wydajnym przetwarzaniem komputerowym. Robot ten służy jako lider zespołu i może kierować innymi, mniej inteligentnymi robotami lub może być używany w szczególnych sytuacjach. Niebezpieczeństwo polega na tym, że specjalistyczny robot ulegnie awarii lub zostanie zniszczony, uniemożliwiając wykonanie misji zespołowej.

Robot torbaczowy

Rodzajem heterogenicznego zespołu, który staje się popularny wśród oddziałów bombowych, jest zespół robotów torbaczy, w których robot-matka niesie mniejszego robota-córkę, podobnie jak matka kangura i jej joey. Gdy robot-matka potrzebuje węzła wzmacniacza lub pomocnego drugorzędowego punktu widzenia, wdrażany jest robot-córka. Robot-matka może również pełnić funkcję trenera dla córki. Już w 1997 roku naukowcy badali kombinacje UAV i UGV. Na przykład Uniwersytet Południowej Kalifornii zademonstrował UGV przeszukujący obszar w oparciu o informacje zwrotne z UAV. Ta kombinacja pozwala na pełny obraz konkretnego miejsca lub wydarzenia.

Wielkość drużyny

Wielkość zespołu dzieli się na cztery kategorie.

- * Sam, zwyrodnieniowy przypadek systemu wielorobotowego,
- * Para, minimum dla tego, co większość ludzi uważa za system wielorobotowy,
- * Ograniczona, gdy liczba robotów n jest mniejsza niż rozmiar zadania lub środowiska, oraz
- * Nieskończony, gdzie n jest większe niż rozmiar zadania lub środowiska.

Ograniczone i nieskończone rozmiary zespołów to bardziej interesujące kategorie. Ograniczony zespół nie ma wystarczającej liczby członków, aby wykonać zadanie jako jedna grupa lub w jednej jednoczesnej akcji. Na przykład firma przeprowadzkowa nie zapewnia gospodarstwu domowemu jednej osoby na skrzynię, zamiast tego wysyła ograniczoną liczbę osób, które wykonują wiele podróży, przenosząc skrzynie z domu do furgonetki. Nieskończony zespół ma wystarczająco dużo członków, prawdopodobnie zbyt wielu, aby skutecznie koordynować. Na przykład podwojenie liczby robotów dozwolonych na boisku do piłki nożnej nie gwarantuje podwojenia wyniku; dodatkowe roboty zajmują miejsce, stają się przeszkodami, zmieniają strukturę zabaw i zwiększają obliczenia algorytmów planowania. Zespoły o nieskończonej wielkości to często roje.

Pięć najczęstszych przypadków MRS

ZBIOROWE ROJE

CELOWO KOORDYNOWANE

Badanie sposobów projektowania MRS w oparciu o rodzaje zadań oraz wymiary koordynacji i systemów może być trudne. Stworzenie pełnej taksonomii jest jeszcze trudniejsze, ponieważ definicje różnych zadań i wymiarów nakładają się na siebie. Dlatego warto zrobić krok wstecz i zidentyfikować najczęstsze kombinacje atrybutów projektu. W literaturze naukowej najczęściej pojawiają się wspólne kategorie kombinacji. Trzy z tych kategorii to warianty zbiorowych rojów: nieświadome, świadome, ale nieskoordynowane i słabo skoordynowane. Dwie kategorie to warianty celowo skoordynowanych systemów MRS: systemy silnie skoordynowane, ale słabo scentralizowane i silnie skoordynowane, ale rozproszone.

NIEŚWIADOMY

Nieświadomy oznacza, że każdy robot wykonuje swoje własne zadanie bez wiedzy pozostałych członków zespołu. Jest to zwykle czysto reaktywne i często opiera się na zachowaniach mrówek i stygmeryzacji. Przypomnij sobie, że mrówki przez większość czasu nie zauważają innych mrówek i zamiast tego polegają na wykrywaniu feromonów. Systemy nieświadome cieszą się popularnością domeny, które wiążą się z żerowaniem lub wyszukiwaniem.

ŚWIADOME, NIEKOORDYNOWANE

Każdy robot w świadomym, nieskoordynowanym systemie jest w jakiś sposób świadomy innych robotów w otoczeniu (np. robot może powiedzieć innemu robotowi, kiedy go zobaczy), ale nie wie, co robią inne roboty ani dlaczego to robią. Może to pomóc w zmniejszeniu problemu zakłócania zadań. Dobrym przykładem MRS, w którym członkowie byli świadomi siebie nawzajem, zapobiegając w ten sposób zakłócaniu zadań, ale nie byli skoordynowani, był zespół multirobotów wystawiony przez Georgia Institute of Technology na imprezę „Pick Up the Trash” podczas zawodów robotów mobilnych AAAI 1994 . W takim przypadku każdy członek poruszał się losowo w poszukiwaniu pomarańczowych kropelek (pomarańczowych puszek po napojach gazowanych), a następnie chwycił puszkę, a następnie przeszukał niebieskie pojemniki do recyklingu, przeniósł się do kosza i upuścił puszkę. Członkowie nie byli skoordynowani. Jednak MRS był świadomy siebie nawzajem, ponieważ roboty były pomalowane na zielono, a każdy robot był odpychany na zielono. Oznaczało to, że roboty poprawiły wydajność poprzez rozproszenie się w swoich poszukiwaniach – jeśli losowy przypadek umieści jednego robota w pobliżu innego robota, oba roboty oddaliłyby się od siebie; dlatego żadne dwa roboty nie przeszukałyby tego samego obszaru. Oznaczało to również, że roboty nie kolidowały ze sobą, wyrzucając puszki z kosza do recyklingu i spowalniając proces recyklingu, gdy dwa roboty próbowały jednocześnie wrzucać puszki do tego samego kosza. Zauważ, że roboty nie musiały być świadome intencji innych robotów ani mieć żadnego rzeczywistego semantycznego zrozumienia, że „zielony=robot”; po prostu unikali „zielonego”.

SŁABO KOORDYNOWANE

W słabo skoordynowanym systemie zadanie wymaga współpracy, ale system nie wymaga jednoznacznej komunikacji. Przykładem tego jest pchanie pudełek. Roboty czują, czy pudełko jest popychane do przodu, a jeśli wyczuwają nacisk w kontakcie z pudełkiem, naciskają na nie. Jeśli nie ma kontaktu, przestają; inne roboty popchną pudełko na swój koniec, a tym samym obrócą pudełko do czekającego robota i sprawią, że poczuje nacisk. W tym przypadku komunikacja jest ukryta, roboty po prostu wyczuwają kontakt, a nie wprost komunikują: „Właśnie przesunąłem pudełko. Teraz twoja kolej. Jedną z zalet słabego schematu koordynacji jest to, że inny robot, nawet robot heterogeniczny, może zastosować to samo zachowanie z takimi samymi wynikami.

SILNIE SKOORDYNOWANE, ALE SŁABO SCENTRALIZOWANE

Czwarty najczęstszy zespół MRS jest silnie skoordynowany, ale słabo scentralizowany. Zespoły te wymagają lidera, ale lider jest wybierany dynamicznie. Zaletą dynamicznego wybierania lidera jest solidność. W przypadku silnej centralizacji jeden lider zostałby stworzony do przewodzenia. Jeśli ten robot zostanie uszkodzony lub zniszczony, drużyna nie będzie mogła dłużej funkcjonować. W słabo scentralizowanym zespole inny robot mógłby przejąć rolę lidera. W związku z tym w zadaniach eksploracyjnych popularne są systemy silnie skoordynowane, ale słabo scentralizowane.

SILNIE SKOORDYNOWANE, ALE ROZPOWSZECHNIONE

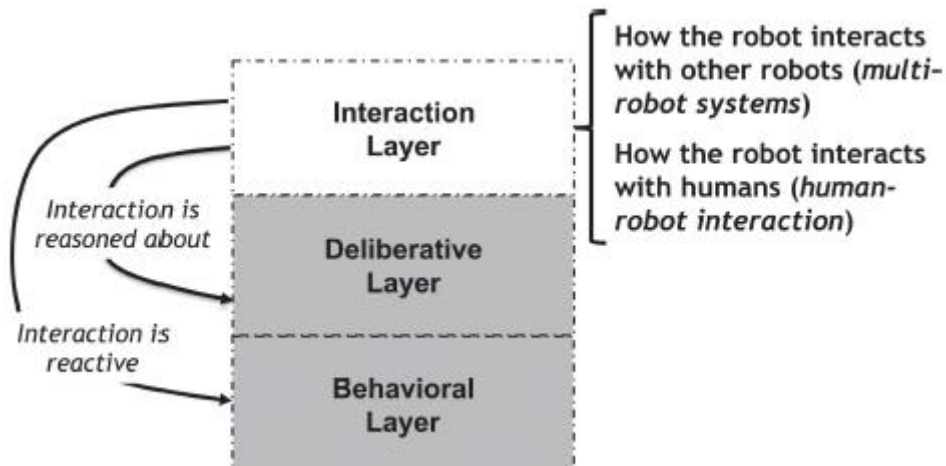
MOBILNOŚĆ WSPÓŁPRACY

Silnie skoordynowane, ale rozproszone zespoły mają gry i zdolność komunikowania się, co jest podobne do silnie skoordynowanych, ale słabo scentralizowanych, ale zespoły nie mają scentralizowanego lidera. Każdy robot wykonuje określony scenariusz lub rolę we wspólnym podręczniku, w oparciu o to, co natychmiast postrzega. Jest to powszechna konfiguracja w piłce nożnej RoboCup. Innym przykładem silnie skoordynowanego, ale rozproszonego systemu jest taki, w którym

robot może przyjść i pomóc innemu robotowi w tarapatkach. Nazywa się to również mobilnością kooperacyjną.

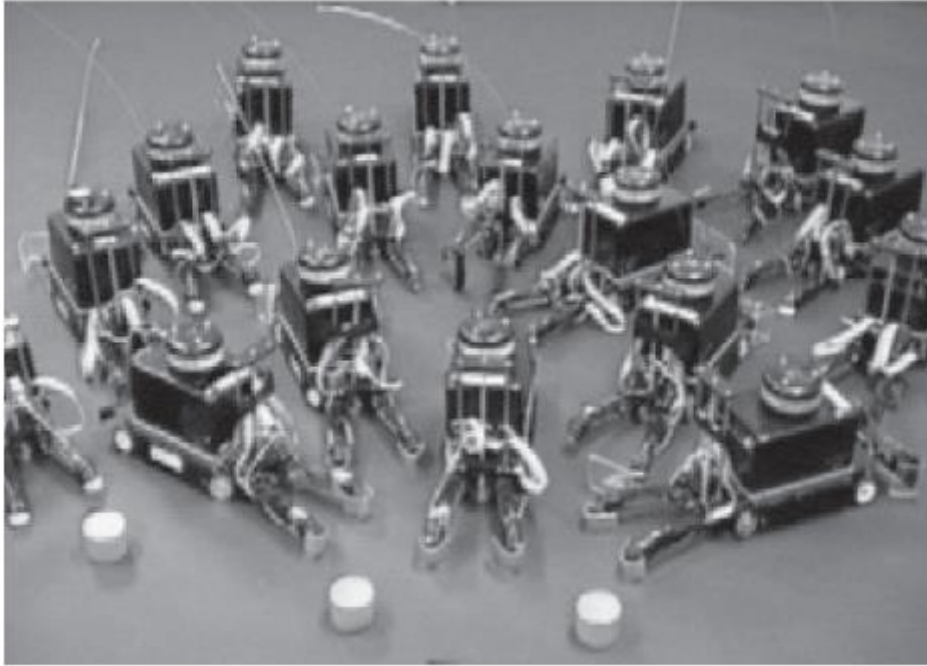
Architektury operacyjne dla MRS

Rysunek umieszcza systemy wielorobotowe w kontekście architektury operacyjnej. Każdy robot ma swoją funkcjonalność reaktywną i deliberatywną, ale także funkcjonalność interaktywną. Dodatkowa funkcjonalność pozwala na interakcję z innymi robotami lub z człowiekiem, który jest tematem kolejnej części. Funkcjonalność interaktywna może być deliberatywna, reaktywna lub jedno i drugie.



ZASADY SPOŁECZNE

Jednym z przykładów tego, jak MRS wdraża interakcje, są reguły społeczne Matarica, w których dynamika grupowa pojawia się w stadach wielu agentów działających pod w pełni rozproszoną kontrolą. Mataric porównał trzy warunki: ignoranckie współistnienie (to znaczy nieświadome), w którym nie było interaktywnej funkcjonalności, świadome współistnienie, w którym dodano reaktywną regułę społeczną rządzącą interakcją, oraz inteligentne współistnienie, w którym dodano deliberatywną regułę społeczną. Warunki te ilustrowały grupę aż 20 identycznych robotów znanych jako „The Nerd Herd”, zaprogramowanych zachowaniami przy użyciu architektury Subsumpcji. Roboty pokazano na rysunku.



Roboty otrzymały ten sam cel, jednak lokalizacja bramki znajdowała się po drugiej stronie przegrody z wąskimi drzwiami, co pozwalało na przejście przez przegrodę tylko jednemu robotowi na raz. Roboty zostały umieszczone losowo po tej samej stronie przegrody i jednocześnie zaczęły się poruszać.

Ignorancie współistnienie

W pierwszej serii demonstracji roboty funkcjonowały w nieświadomym współistnieniu. Roboty koegzystowały w zespole, ale nie miały o sobie żadnej wiedzy. Jeden robot traktował innego robota jako przeszkodę. Każdy robot miał ekwiwalent zachowań ruchu do celu i unikania przeszkód. Ponieważ roboty były traktowane jako przeszkody, gdy roboty zebrały się na otwarciu, większość czasu spędzały na unikaniu siebie. Zespół jako całość powoli przechodził przez drzwi do miejsca docelowego. Co gorsza, im większa liczba robotów, tym większy korek i tym dłużej trwało przejście wszystkich członków zespołu. Jest to przykład interferencji zadań w systemach wielorobotowych.

Świadome współistnienie

W drugiej demonstracji, świadomej koegzystencji, robotom pozwolono rozpoznawać się nawzajem i dano im prostą regułę społeczną rządzącą interakcjami robot-robot. Oprócz ruchu do celu i unikania przeszkód stworzono trzecie zachowanie dotyczące unikania robotów. Gdyby robot wykrył innego robota, zatrzymałby się i czekał na czas p . Gdyby blokujący robot nadal był na drodze po p , robot skręciłby w lewo, a następnie wznowiłby ruch do celu. Rezultatem nowego zachowania było zmniejszenie korków, a grupa przedostała się przez drzwi mniej więcej w tym samym czasie, co pojedynczy agent, który przechodził przez otwór 20 razy.

INTELIGENTNE WSPÓLISTNIENIE

Prawdziwą niespodzianką była trzecia demonstracja, inteligentne współistnienie. Zachowanie społeczne polegające na unikaniu robotów zostało zastąpione inną heurystyką: każdy robot był odpychany przez inne roboty, ale gdy się oddalał, próbuje również poruszać się w tym samym kierunku, co większość innych robotów. Robot postrzegał wszystkie pobliskie roboty jako odpychające pole. Ale każdy robot może obliczyć drugi wektor ogólnego kierunku drugiego robota, sumując wektory kursu każdego robota. (Roboty transmitują swój kurs nad nadajnikiem radiowym, aby zrekompensować

niemożność wzajemnego rozpoznania się za pomocą wizji lub sonaru, więc nie jest to uważane za komunikację.) Robot mógł zobaczyć innego robota, tworząc odpychający wektor. Jednak wyczuwany robot może zmierzać w stronę drzwi, wnoszący wektor nagłówka. Robot mógłby sumować wektory, które generalnie odsunęłyby go od kolizji, ale nadal w kierunku drzwi. W wyniku inteligentnego współistnienia roboty wykazywały zachowanie foka i przechodziły przez drzwi jednym rzędem! Heurystyka stworzyła potrzebę, aby każdy robot podążał tym samym nagłówkiem, co większość. To z kolei stworzyło tendencję do tworzenia linii, podczas gdy siła odpychania pobliskich robotów powodowała, że roboty tworzyły przestrzeń, w której roboty łączą się w linię. Razem te dwa efekty stworzyły silną tendencję do przechodzenia przez drzwi pojedynczo, mimo że nie było tak wyraźnego kierunku. Nie tylko zmniejszyły się korki, ale i całość zadania została wykonana szybciej.

Podział zadań

Zasady społeczne ilustrują wyłaniającą się koordynację w rozproszonym zespole bez wyraźnej komunikacji między robotami, ale ignorują zespoły i zadania, w których roboty mogą się komunikować i muszą dzielić obowiązki. Nazywa się to problemem alokacji zadań. Istnieją trzy szerokie kategorie podejść do tego problemu. Jedno z podejść wymaga scentralizowanej kolektywu do rozumowania i przydzielania zadań członkom zespołu. Takie podejście ma tę wadę, że jest scentralizowane, a roboty AI mają tendencję do faworyzowania rozwiązań rozproszonych, które nie wprowadzają wrażliwego centralnego kontrolera. Inne podejście wykorzystuje agenta do nadawania informacji („jedzenie jest tutaj”) lub prośb („potrzebuję pomocy”), a następnie poszczególni agenci odpowiadają. Na przykład Gage stworzył MRS, w którym każdy robot był obdarzony poczuciem wstydu. Jeśli robot otrzyma prośbę, motywacja do spełnienia tej prośby rosła. Gdyby robot był wolny, odpowiedziałby na żądanie. Jeśli był zajęty, a żądanie powtarzało się (tj. tworzyło narastające poczucie wstydu), robot reagował, gdy tylko jego bieżące zadanie zostało wykonane. Wstyd może wzrosnąć do tego stopnia, że robot przerwie swoje zadanie, aby zareagować. Poszczególne roboty nie musiały o sobie wiedzieć, bezpośrednio się komunikować ani uzasadniać optymalnego przydziału zadań.

KONTRAKTOWE PROTOKOŁY SIECIOWE

Inne podejście, protokoły sieci kontraktowych, umożliwia robotom bezpośrednią komunikację między sobą w celu negocjowania alokacji. W protokołach sieciowych kontraktów przydzielanie zadań jest jak rynek. Poszczególne roboty, które są dostępne i mają odpowiednie możliwości, licytują zadania. Jakość oferty jest oceniana na podstawie takich czynników, jak czas, w którym mogą rozpocząć pracę nad zadaniem, szacunkowe przewidywane tempo wykonania zadania, niezawodność i tak dalej.

Podsumowanie

Wiele zadań sprzyja korzystaniu z wielu tanich robotów zamiast jednego drogiego. Te kolekcje wielu robotów są często określane jako systemy wieloagentowe i wielorobotowe. Zaprojektowanie skutecznego systemu wielorobotowego wymaga zrozumienia zadania i możliwych konfiguracji zespołu. Ponieważ nowy nacisk kładzie się na zbiorowość i zadania, projektant musi teraz wziąć pod uwagę koordynację, a także indywidualne kompetencje. Stanowi to podstawową decyzję projektową, czy uczynić jednostkę bardziej inteligentną i ile, czy też grupę. Projektanci muszą również rozważyć, czy do wykonania zadania potrzebne są wyraźne plany, a jeśli tak, to jak przydzielić zadania lub podzadania. Interakcja obejmuje również komunikację i ustalenie, kiedy komunikacja jest potrzebna i w jakiej formie, na przykład stygmatyzm. Wracając do pytań postawionych we wstępie, najbardziej fundamentalne pytanie brzmi: do czego nadaje się wiele robotów? Część odpowiada na to pytanie ogólnie, podając co najmniej cztery motywacje dla MRS. Teoretycznie MRS są dobre do zadań, które są tak złożone, że strategie „dziel i zwyciężaj” są przydatne, lub gdy wiele prostych robotów jest tańszych, szybszych lub bardziej wytrzymałych niż pojedynczy, drogi robot. W praktyce badania

wykazały przydatność MRS do zadań obejmujących, takich jak poszukiwanie, obserwacja wielu celów i eksploracja, a także zadań wymagających współpracy, na przykładzie demonstracji pchania pudełek, montażu i gry w piłkę nożną. Czy istnieją różne rodzaje wielu zespołów robotów — zespołów działających jak roje owadów i zespołów, które wykorzystują bardziej skomplikowaną inteligencję? Do chwili obecnej istnieje pięć głównych grup koordynacji i projektów systemów do realizacji zadań. Gdy grupa jest duża, a poszczególne roboty nie są skoordynowane, często nazywa się je rojami. Roje na ogół kojarzą się z dużą liczbą identycznych lub jednorodnych robotów, które replikują proste zasady kontroli biologicznej, takie jak stygmatyzm, ale niektóre MRS nazywane są rojem, pomimo silnej koordynacji i scentralizowanej kontroli. Te dwie konkurujące konotacje wynikają z subtelnej różnicy między sposobem programowania i kontrolowania MRS (tj. grupa robotów zachowuje się jak biologiczny rój pszczół) a tym, jak MRS jest używany (tj. użycie wielu robotów do wykonania misji można nazwać rój). Jakakolwiek dyskusja na temat rojów prowadzi w końcu do pytania: Czy kiedykolwiek możesz mieć za dużo robotów? Odpowiedź brzmi tak, a zbyt wiele robotów powoduje zjawisko zwane interferencją zadaniową. Kwestią o znaczeniu praktycznym dla programowania jest: Czym różni się programowanie wielu robotów od programowania pojedynczego robota? Programowanie systemu wielorobotowego nie różni się zbytnio od programowania pojedynczego robota. MRS generalnie polega na dodawaniu dodatkowych reguł behawioralnych lub wyraźnych mechanizmów komunikacji do indywidualnie kompetentnego robota. Poszczególne roboty może wykonać swoją część zadania w sposób reaktywny lub dlatego, że zostało mu w jakiś sposób wyraźnie przydzielone zadanie; badanie sposobu, w jaki programy dokonują przydziałów zadań, nazywa się przydzielaniem zadań. Chociaż poczyniono znaczne postępy w systemach wielorobotowych, a owady i science fiction nadal inspirują roje robotów, istnieje wiele nierozwiązanych problemów z perspektywy sztucznej inteligencji. Monitorowanie systemu wielorobotowego jest trudne. Ustalenie, kiedy członkowie zbiorowi lub indywidualni są nieproduktywni, jest trudne, jeśli nie ma scentralizowanego serwera. Roje i inne luźno skoordynowane zespoły mogą ingerować w innych członków zespołu. Głównym problemem w przyjęciu jest to, że metody tworzenia poprawnych do udowodnienia projektów zachowań oraz testowania systemów wielorobotowych praktycznie nie istnieją. Systemy wielorobotowe uwydatniają niedeterminizm występujący we wszystkich robotach AI, komplikując testowanie. W kolejnej części przedstawimy nowy zespół, zwany zespołem człowiek-robot, i omówimy projektowanie interakcji człowiek-robot.