

Telesystemy

- * Zdefiniuj telesystem, kontrolę nadzorczą, teleoperację, kontrolę współdzieloną, kontrolę handlową, zdalne sterowanie, teleobecność, propriocepcję, eksterocepcję i ekspropriocepcję.
- * Porównaj i porównaj agencję zadaniową i zdalną obecność.
- * Oznacz siedem elementów telesystemu.
- * Opisz heurystykę czasu teleoperacji.
- * Zdefiniuj trzy rodzaje percepcji i dlaczego ekspropriocepcja ma kluczowe znaczenie dla solidnych telesystemów.
- * Uzasadnij, czy domena jest odpowiednia dla telesystemu, korzystając z sześciu cech domeny telesystemu.
- * Jeśli podano opis schematu kontroli przez człowieka, zaklasyfikuj go jako manualny, w obrocie, współdzielony lub autonomiczny.
- * Zdefiniuj strzeżony ruch i wyjaśnij jego związek z kontrolą handlową i współdzieloną.
- * Napisz wzór na bezpieczny stosunek człowieka do robota i wyjaśnij, co oznacza każdy termin.
- * Opisz problem kontroli człowieka poza pętlą (OOTL) i dlaczego jest to problem dla kontroli nadzoru przez człowieka.

TELEOPERACJE

Podsumowując, sztuczna inteligencja jest dobra w zachowaniach i umiejętnościach niższego poziomu w warstwie reaktywnej oraz w rozumowaniu symbolicznym w warstwie deliberatywnej, ale nie jest tak dobra w przekształcaniu danych z czujników w symbole. Oprócz tego ograniczenia poznawczego roboty są w niekorzystnej sytuacji mechanicznej i mają problemy z wykonywaniem zadań manipulacyjnych, które wymagają koordynacji ręka-oko. Biorąc pod uwagę, że ludzie wciąż przewyższają maszyny pod względem wykrywania i zręcznej manipulacji, często pożądane jest posiadanie systemów, które umożliwiają ludziom i robotom, które są fizycznie oddzielone, interakcję w celu wykonania zadania. Ten układ człowiek-robot nazywa się telesystemem, gdzie tele oznacza „zdalny”, a ogólna aktywność człowieka, który kontroluje robota na odległość, nazywa się teleoperacją. Terminy telesystem i teleoperacja są używane zamiennie. Konotacja telesystemów polega na tym, że człowiek musi wchodzić w interakcje ze światem za pośrednictwem robota i wolałby delegować zadania robotowi, niż zarządzać każdym ruchem. Niedawno pojawiły się takie zadania, jak telepraca, nadzór, prowadzenie działań wojennych oraz poszukiwanie i ratownictwo, w które zaangażowana jest osoba, która chce pracować za pomocą robota w celu zrozumienia odległego środowiska lub sytuacji w czasie rzeczywistym. Te zadania człowiek-chce-być-w-pętli są formą zdalnej obecności, która zostanie omówiona w następnym podrozdziale. Teleoperacja i wykorzystanie telesystemów to stan praktyki w większości robotów wojskowych i bezpieczeństwa publicznego. Korzystanie z telesystemów jest również gorącym nowym trendem w robotyce konsumenckiej, biorąc pod uwagę wzrost liczby robotów telepracujących, takich jak Double Telepresence Robot dla pracowników biurowych i RP-Vita dla lekarzy, a także rozprzestrzenianie się małych bezzałogowych statków powietrznych jako zabawek i do zastosowań komercyjnych. Dlatego ważne jest, aby rozumieć teleoperację zarówno jako legalne, samodzielne podejście do robotyki dla aplikacji zdalnej obecności, jak i jako ścieżkę przejściową do autonomicznych agentów wykonujących zadania. Możliwości autonomiczne mogą pomóc operatorom w zdalnych aplikacjach obecności i mogą umożliwić wykonywanie zadań przez agencję. W tym rozdziale

omówiono pytania dotyczące teleoperacji, w szczególności Co to jest telesystem? Praca człowieka przez robota zamiast całkowitego delegowania zadania robotowi rodzi pytanie, czy teleoperacja jest „tymczasowym złem” na drodze do autonomii, czy jest to inny styl sztucznej inteligencji? Krótka odpowiedź brzmi, że teleoperacja to inny styl sztucznej inteligencji, zwany zdalną obecnością. W przeciwieństwie do odpowiedzialnej agencji, celem zdalnej obecności jest umożliwienie człowiekowi postrzegania i działania na odległość w czasie rzeczywistym. To parowanie systemów człowiek-maszyna wymaga poważnego zastanowienia się, do jakich dziedzin zadań nadają się telesystemy? W rozdziale zagłębiemy się w bardziej techniczne kwestie, odpowiadając na pytania Czym jest kontrola nadzorcza?, Czym jest pół-autonomia? i Czym się różnią? Czynniki ludzkie są często pomijane w telesystemach, mimo że człowiek i robot ściśle ze sobą współpracują, dlatego rozdział obejmuje odpowiednie czynniki ludzkie, które należy wziąć pod uwagę, aby zapewnić, że ograniczenia poznawcze operatora(ów) nie zostaną przekroczone i że człowiek problem kontroli pętli nie występuje.

Agencja odpowiedzialna a zdalna obecność

Telesystemy mogą być albo alternatywą dla pełnej autonomii dla agentów zadaniowych, albo „stanem końcowym” dla aplikacji zdalnej obecności, dlatego warto rozróżnić te dwie koncepcje.

AGENCJA ZADANIA

Domena agenta wykonującego zadania to taka, w której robot otrzymuje złożone zadanie lub misję, wykonuje je bez nadzoru, a następnie zwraca lub informuje człowieka. Jednym z przykładów jest sonda Deep Space One. W fikcji przykładem jest Terminator. W obu przypadkach, gdy robot rozpoczyna wykonywanie, człowiek ma niewielką kontrolę nad robotem i musi ufać, że robot zrobi to, co należy.

ZDALNA OBECNOŚĆ

Zdalna domena obecności to taka, w której człowiek i robot dzielą zadanie, a wykonanie zadania jest połączone. Ten rodzaj aplikacji jest również nazywany wspólnym systemem poznawczym, ponieważ człowiek i robot muszą wspólnie dzielić i dzielić czynności poznawcze, aby zrealizować misję. Przykładem jest robot chirurgiczny, którym kieruje lekarz, ale wykorzystuje sztuczną inteligencję, aby wyczuć ciało i zapobiec zbyt głębokiej penetracji cięć lub przedostaniu się w niewłaściwe miejsce. Te dwa cele są różne. Przypomnij sobie cztery ogniska robotyki wprowadzone w części 1: Zastąp, Projektuj, Pomóż i Baw się. Zadaniem agentów jest Zastępowanie ludzi. Roboty zdalnej obecności są zaprojektowane tak, aby umożliwić ludziom projekcję w odległych środowiskach.

Siedem elementów Telesystemu

Telesystem składa się z siedmiu elementów, z których dwa znajdują się na lokalnej stacji roboczej, czasami nazywanej nadrzędną, cztery w zdalnym robocie lub podrzędnym, a także element komunikacyjny do łączenia lokalnego i zdalnego.

LOKALNY

WYŚWIETLACZ

Lokal to miejsce, w którym pracuje człowiek-operator lub teleoperator. Lokalny musi mieć jakiś rodzaj wyświetlacza, aby zobaczyć stan robota i mechanizmy sterujące kierujące robotem. Wyświetlacze i mechanizmy sterujące są zwykle konfigurowane jako stacja robocza. Mechanizmami sterującymi mogą być klawiatura, joystick, joystick z siłą i dotykową informacją zwrotną, taki jak interfejs dotykowy PHANTOM, lub bardziej złożony manipulator, który przekłada ruchy dłoni i ramion na ruchy manipulatora robota

ZDALNY

CZUJNIKI

WYŚWIETLACZ

ŁĄCZE KOMUNIKACYJNE

Zdalny robot, czasami nazywany telefaktorem, musi mieć czujniki, efektory, moc i mobilność. Efektory i mobilność mogą wydawać się zbędne, ponieważ mobilność umożliwia efektory, ale pierwotnie teleoperacja ograniczała się do manipulatorów, a zatem, gdy powstawały roboty mobilne, mobilność była uważana za nowy element. Inną zmianą zachodzącą w technologii jest to, że sterowanie może być rozdzielone między lokalne i zdalne, dzięki czemu zdalny telefaktor ma pewną inteligencję i możliwości autonomiczne. Teleoperator generalnie nie może bezpośrednio patrzeć na to, co robi pilot, albo dlatego, że robot jest fizycznie oddalony (np. na Marsie), albo lokalny musi być osłonięty (np. w gorącej komórce zakładu przetwórstwa jądrowego lub farmaceutycznego). Dlatego czujniki, które uzyskują informacje o zdalnej lokalizacji, technologia wyświetlania umożliwiająca operatorowi zobaczenie danych z czujnika oraz łącze komunikacyjne między lokalnym i zdalnym są krytycznymi elementami telesystemu.

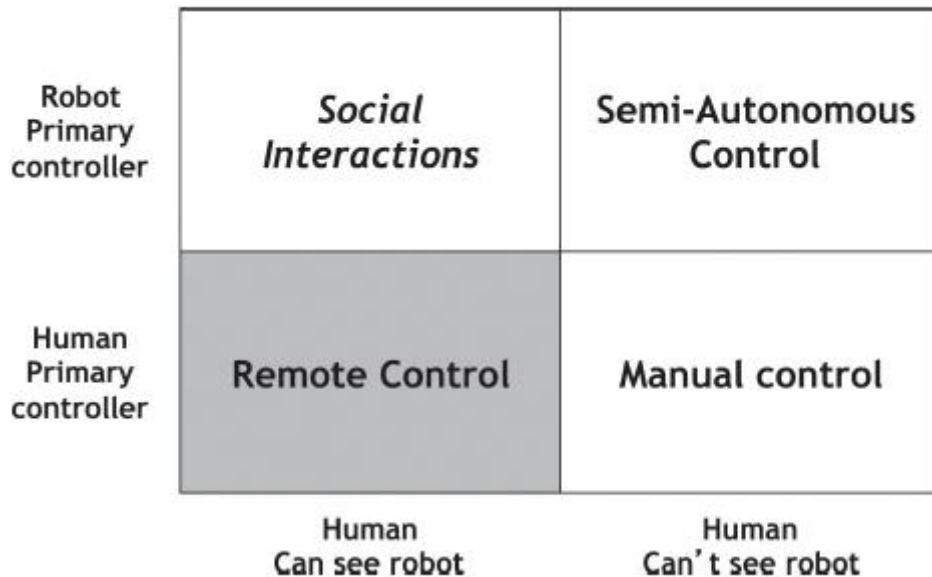
Kontrola nadzoru ludzkiego

KONTROLA NADZORU CZŁOWIEKA

Teraz, kiedy powstał już telesystem, następne pytanie brzmi: Jak sterowany jest telesystem? Kontrola telesystemu ogólnie mieści się w kategorii kontroli przez człowieka. Kontrola nadrzędna przez człowieka jest definiowana jako sytuacja, w której jeden lub więcej ludzkich operatorów co jakiś czas wydaje polecenia i stale otrzymuje informacje z komputera, który sam zamyka autonomiczną pętlę sterowania poprzez sztuczne efektory i czujniki do kontrolowanego środowiska procesu lub zadania. Termin ten nie ogranicza się do pojazdów bezzałogowych; może być stosowany w samolotach wyposażonych w funkcję autopilota i fly-by-wire, a także w automatyce przemysłowej. Definicja ludzkiej kontroli nadzorczej implikuje, że człowiek zawsze jest związany z robotem, choćby po to, by wyznaczać cele dla autonomicznego, odpowiedzialnego agenta. Nawet jeśli robot jest autonomiczny, dostarcza informacji, ponieważ nawet brak informacji ma charakter informacyjny (np. nic ciekawego się nie wydarzyło). Definicja wskazuje również, że zawsze w grę wchodzi komputer. Komputer może wyświetlać efekt przyszłych działań w celu zatwierdzenia wykonania lub próby zadania, jak opisano w Części 18. Może to kompensować opóźnienia czasowe, co zostanie omówione później. Komputer z pewnością zapewnia kontrolę w pętli wewnętrznej, umożliwiając rzeczywiste działania. Przykładem jest zdolność bezzałogowych statków powietrznych typu fly-by-wire do zawisania w miejscu bez dotykania elementów sterujących przez człowieka. Pożądane jest, aby robot miał odruchy bezpieczeństwa/samoobrony, znane również jako ruch strzeżony, jak opisali Pratt i Murphy. W teleoperacji człowiek na ogół nadzoruje robota za pomocą jednego z trzech trybów: sterowania ręcznego, sterowania handlowego i sterowania współdzielonego. Tryby zostaną opisane bardziej szczegółowo poniżej. Należy jednak pamiętać, że tryb może się zmieniać wraz z osią czasu lub fazą misji, dlatego tryby miały być etykietami dla aktualnego stanu wspólnego systemu poznawczego, a nie stałym, niezmiennym schematem działania. Na przykład operator może lekko kierować bezzałogowym systemem powietrznym podczas startu i lądowania (sterowanie współdzielone), a następnie nakierować robota na autonomiczny lot bez nadzoru do punktu nawigacyjnego. Następnie człowiek przejmuje kontrolę nad sytuacją (kontrola handlowa), a następnie ponownie angażuje się w pełną autonomię, aby pozwolić UAV wrócić do domu, ostatecznie prowadząc UAV do najlepszego miejsca lądowania (kontrola wspólna).

Rodzaje kontroli nadzorczej

Rodzaje sterowania nadzorczego można przedstawić jako macierz o dwóch ortogonalnych osiach. Osie stanowią odpowiedź na dwa pytania: Czy widzisz robota w jego otoczeniu? oraz Gdzie jest główna część inteligencji: lokalna (operator) czy zdalna (robot)? Prowadzi to do czterech ćwiartek, jak pokazano na rysunku



ZDALNE STEROWANIE

Dolny lewy kwadrant na rysunku pokazuje, że jednym ze sposobów nadzorowania robota jest zdalne sterowanie. W zdalnym sterowaniu operator widzi robota, a robot ma niewielką, jeśli w ogóle, inteligencję. Zdalne sterowanie, zwane także sterowaniem radiowym, jest standardem w zawodach „wojny robotów” i latających bezzałogowych pojazdach latających. Pilot zdalnego sterowania jest generalnie nie uważany za teleoperację, ponieważ teleoperacja oznacza, że operator nie widzi robota.

STEROWANIE RĘCZNE

Kwadrant sterowania ręcznego to klasyczny tryb teleoperacji. W tym kwadrancie operator nie widzi naprawdę odległego robota, a robot ma niewielką inteligencję.

PÓŁAUTONOMIA

Kwadrant półautonomii obejmuje również teleoperację. W Semi-Autonomy robot ma inteligencję, ale może nie mieć zestawu możliwości, które mogą całkowicie zastąpić ludzką inteligencję. Podobnie, nawet jeśli ma taki zestaw możliwości, to człowiek wydaje robotowi przynajmniej wstępne dyrektywy, więc termin „semi” nadal obowiązuje. Duża część ludzkiej kontroli nadzorczej koncentruje się na bogatych interakcjach między ludźmi a robotami, które występują w tym kwadrancie.

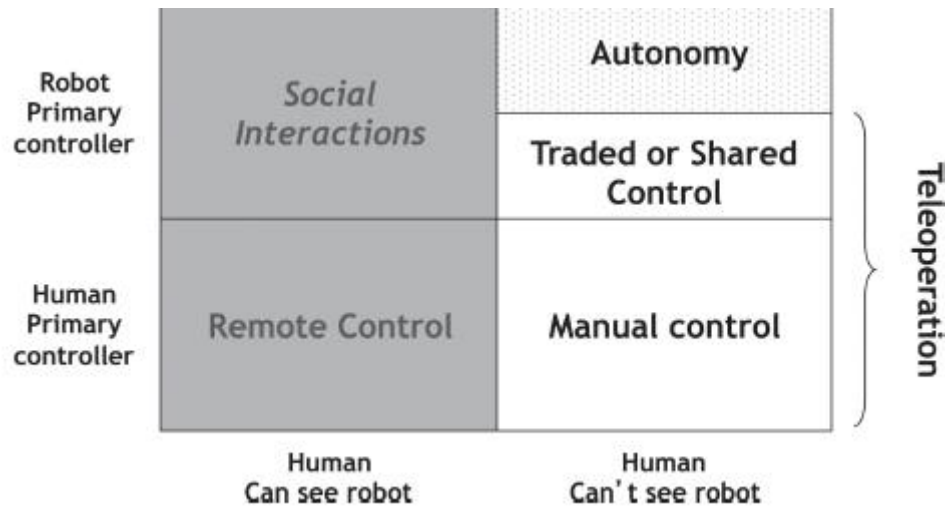
INTERAKCJE SPOŁECZNE

Czwarty kwadrant, interakcje społeczne, to najnowsza forma kontroli nadzorczej człowieka. Obejmuje sytuacje, w których człowiek widzi robota i musi z nim wchodzić w interakcje, nawet jeśli człowiek nie kontroluje robota. Kontrolerem może być współpracownik, który musi rozmawiać z kolegą przez robota telepracującego. Kontrola nadzorcza przez człowieka historycznie dotyczyła człowieka „za”

robotem, w efekcie kwadrantów zdalnego sterowania, sterowania ręcznego i sterowania półautonomicznego, ale teraz musi uwzględniać człowieka „przed” robotem. Ten kwadrant będzie tematem części 18 dotyczącej interakcji człowiek-robot.

Kontrola nadzoru ludzkiego dla Telesystemów

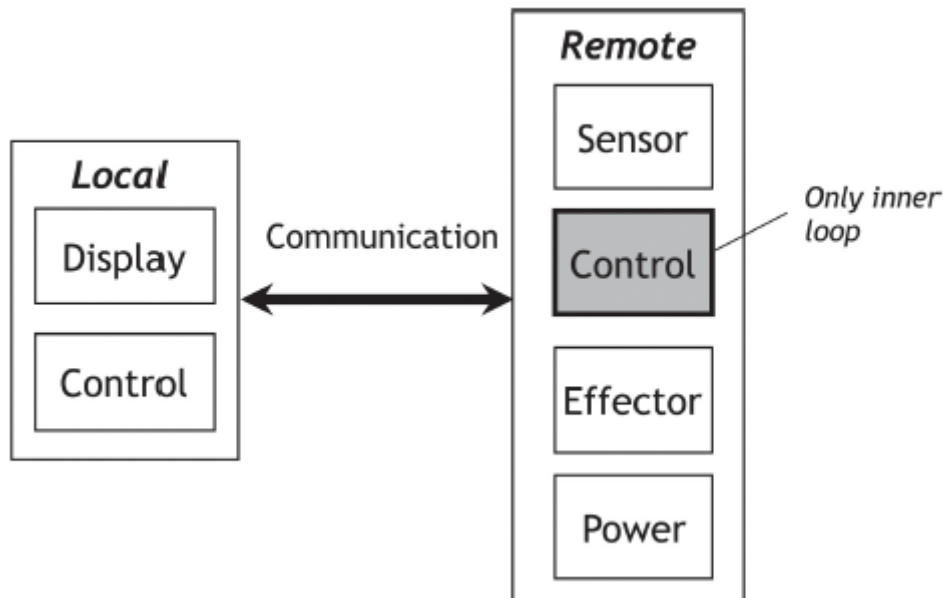
Termin „kontrola nadzorująca przez człowieka” ogólnie odnosi się do kolumny na rysunku powyżej, składającej się z kwadrantów kontroli ręcznej i półautonomicznej. Kwadrant Kontroli Półautonomicznej można podzielić na Kontrolę Handlową lub Wspólną oraz Autonomię, jak pokazano na rysunku, odzwierciedlając smaki autonomii.



Kontrola ręczna, trasakcyjna i dzielona są czasami określane jako kontrola „człowiek w pętli”, podczas gdy autonomia jest określana jako „człowiek w pętli”, aby odróżnić smak ludzkiego zaangażowania. Konotacja jest taka, że kontrola nadzorcza obejmuje szereg interaktywnych stylów sterowania, od ręcznego sterowania poza zasięgiem wzroku po pełną autonomię. W teleoperacji kontrola nadrzędna przez ludzi jest zwykle kojarzona z ręczną, handlową lub dzieloną kontrolą, podczas gdy termin „autonomia” kojarzy się z odpowiedzialnymi agentami. Kontrola nadzorcza, kontrola ręczna, kontrola handlowa i kontrola dzielona są często używane zamiennie, co zwiększa zamieszanie wokół definicji. Misja robota może mieć części, które są ręczne, handlowe, współdzielone lub autonomiczne, więc typ kontroli przez człowieka może się dynamicznie zmieniać. Innym mylącym aspektem jest to, że niektórzy projektanci próbowali uporządkować ręczne, handlowe, współdzielone i pełną autonomię w hierarchię rosnącej sztucznej inteligencji. Handel, współdzielona kontrola i pełna autonomia wymagają różnych inteligentnych możliwości, a złożoność może zależeć od aplikacji, więc trudno powiedzieć, że jeden schemat z natury wymaga więcej inteligencji niż inny. Wspólna kontrola nad rojem setek robotów naziemnych, powietrznych i morskich na polu bitwy może wymagać większej inteligencji zarówno robotów zdalnych, jak i lokalnych, aby pomóc człowiekowi w zrozumieniu sytuacji niż w przypadku w pełni autonomicznego odkurzacza robota.

Sterowanie ręczne

Jak pokazano na rysunku



robot nie ma wbudowanego elementu sterującego w trybie sterowania ręcznego. Może istnieć wewnętrzna pętla kontrolna stabilizująca lot UAV, ale nic, co można by uznać za sztuczną inteligencję. Roboty zbudowane do teleoperacji będą miały wykrywanie eksteroceptywne i mogą mieć propriocepcję lub nie, ale prawie zawsze będą polegać na człowieku, aby wnioskować o ekstraproiepcji. Teleoperator nie widzi robota i jest całkowicie odpowiedzialny za konstruowanie i utrzymywanie zrozumienia tego, co dzieje się z robotem i światem. Teleoperator musi stworzyć zrozumienie w oparciu o wyświetlacz lub interfejs użytkownika, komponent telesystemu. Niestety, interfejsy robota są zwykle niewystarczające, aby teleoperator był świadomy, gdzie znajduje się robot, ponieważ osprzęt robota rzadko zawiera mechanizm wykrywania ekstraproiepcyjnego. Te rodzaje percepcji definiuje się w następujący sposób:

PROPORCEPCJA

Propriocepcja: pomiary ruchów względem wewnętrznego układu odniesienia. W biologii jest to zwykle pewna miara tego, jak daleko ręka lub noga została wyciągnięta lub cofnięta. W robotyce silniki to generalnie silniki. Wiele silników jest wyposażonych w enkoder wału, który mierzy liczbę wykonanych przez silnik obrotów. Jeśli znana jest przekładnia i rozmiar koła, liczba obrotów silnika może być wykorzystana do obliczenia liczby obrotów kół robota, a liczba ta może być wykorzystana do oszacowania, jak daleko przebył przegub lub robot.

EKSTRACEPCJA

Eksterocepcja: pomiary rozmieszczenia środowiska i obiektu względem układu odniesienia robota. Eksterocepcja może zapobiec upadkowi robota ze schodów, takiego jak Roomba, który wykorzystuje czujnik zasięgu do wykrywania pustych przestrzeni i czujnik nierówności do wykrywania przeszkód. Czujniki, takie jak Kinect pierwotnie używany w grach wideo, mogą zapewnić trójwymiarową rekonstrukcję otoczenia.

WYWŁASZCZENIE

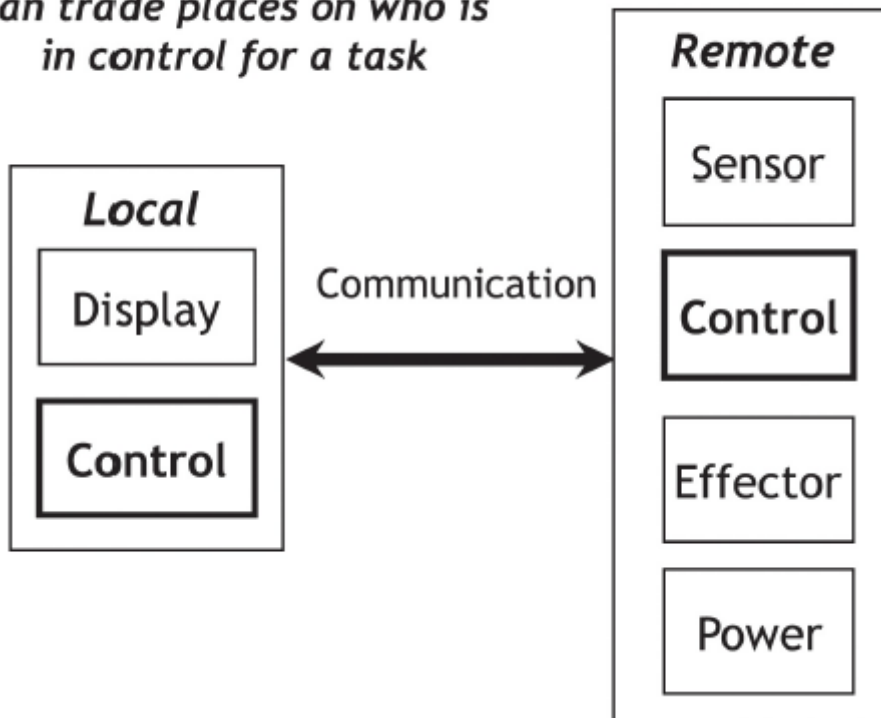
Ekstraproiepcja: pomiar położenia korpusu lub części robota w stosunku do układu otoczenia. Jest to zasadniczo zewnętrzny widok robota. Na przykład, jeśli wędrujesz i utkniesz stopą w stercie kamieni, możesz wykorzystać swoją elastyczność fizyczną, aby schylić się i odwrócić głowę, aby zobaczyć, jak

stopa jest uwięziona. Propriocepcja mówi ci, że twoja stopa utknęła pod niewygodnym kątem, a eksterocepcja mówi ci, że skały napierają na twoje stopy, ale ekspropriocepcja pomaga zaplanować wyprostowanie stopy, pociągnięcie do tyłu, a następnie w górę w celu jej wyciągnięcia.

Kontrola transakcyjna

W kontroli transakcyjnej fazy misji są podzielone na odrębne zadania, które wykona teleoperator i te, które wykona telefaktor, jak pokazano na rysunku

Teleoperator and Telefactor can trade places on who is in control for a task



Na przykład teleoperator deleguje etap zadania do robota, robot wykonuje tę fazę, a następnie człowiek przejmuje zadanie. Jest to powszechne w zadaniach wymagających zręcznej manipulacji, ponieważ robot może przesunąć ramię i manipulator blisko obiektu, a następnie człowiek może przejąć kontrolę i wykonać drobne ruchy. Kontrola transakcyjna jest również używana do nawigacji po punktach orientacyjnych do lokalizacji celu, gdzie robot nawiguje do celu, a następnie człowiek przejmuje zadanie wyszukiwania lub inspekcji w oparciu o to, co znajduje się w lokalizacji. Transakcja może odbywać się w dowolnej kolejności. Weź pod uwagę, że bezzałogowe statki powietrzne mogą być ręcznie sterowane podczas misji poszukiwawczo-ratowniczych, a następnie, gdy teleoperator zobaczy już wystarczająco dużo, autonomiczny powrót do domu. W praktyce kontrola transakcyjna jest domyślnie częścią prawie każdego w pełni autonomicznego systemu obsługi wyjątków i operacji awaryjnych, w których robot przekazuje kontrolę człowiekowi. Jedno z ukrytych zastosowań kontroli handlowej wynika z oczekiwania, że jeśli coś pójdzie nie tak, robot „przebije się” w stosunku do „mądrzejszego” agenta, a tym samym przekaże kontrolę człowiekowi. Na przykład autopiloty w samolotach wyłączają się, jeśli sytuacja przekroczy ich parametry, a człowiek-pilot musi przejąć kontrolę. Innym przykładem jest to, że wiele UAV ma procedurę utraconego łącza, w której UAV autonomicznie powróci do domu, jeśli zostanie utracona komunikacja z operatorem; tutaj kontrola została przekazana robotowi za dorozumianą zgodą człowieka. Jak zostanie omówione w dalszej części, kontrola

transakcyjna w sytuacjach wyjątkowych lub na podstawie wyjątków stwarza poważne problemy związane z czynnikami ludzkimi.

Kontrola dzielona

W kontroli dzielonej zarówno teleoperator, jak i telefaktor uczestniczą jednocześnie w kontroli. Zazwyczaj teleoperator dostarcza przemyślanych danych wejściowych, a telefaktor zapewnia reaktywną kontrolę, zasadniczo dzieląc obowiązki na warstwy kanonicznej architektury organizacyjnej oprogramowania w części 4. człowiek może i może bardziej niezawodnie wykonać prawidłową reakcję pompowania hamulców.

Ruch strzeżony

RUCH OCHRONNY

Ważną formą sterowania stosowaną od 1980 roku jest ruch strzeżony. Ruch strzeżony jest zdefiniowany przez Pratta i Murphy'ego jako rodzaj kontroli człowieka w pętli, w której robot chroni się przed niezamierzonymi konsekwencjami ludzkich dyrektyw. Przykłady obejmują systemy wizyjne dla ciężarówek, które spowalniają lub zatrzymują ciężarówkę, aby uniknąć kolizji, roboty chirurgiczne zapobiegające nadmiernej sile skalpela lub sondy, bezałogowe statki powietrzne, które nie mogą wylecieć poza granice lub roboty mobilne, które kompensują niestabilne konfiguracje, które mogą powodować robota spaść. W większości przypadków strzeżony ruch sprawia, że działanie robota jest bezpieczniejsze. Ruch strzeżony zakłada, że w porównaniu z robotem człowiek ma gorszą wiedzę na temat otoczenia oraz postawy robota i stosunku do otoczenia. Robot, jako agent umiejscowiony w otoczeniu, potrafi pełniej lub szybciej rozumieć, co się dzieje i reagować szybciej lub bardziej adekwatnie niż zdalny teleoperator. Autonomiczne możliwości ruchu chronionego można wymieniać lub udostępniać, chociaż ruch chroniony jest często klasyfikowany jako kontrola współdzielona, ponieważ robot zawsze monitoruje sytuację, przed którymi należy się strzec. Według Pratta i Murphy'ego, ruch chroniony składa się z pięciu elementów: Kryteria interwencji autonomicznej, które określają, kiedy system może modyfikować polecenia wydawane przez operatora. Kryteria mogą prowadzić do wyjątków, gdy system wkracza. Przystanki awaryjne, granice lotu lub konfiguracje poza limitem to przykłady wyjątków. Alternatywnie system może stale dostosowywać polecenia operatora online. Na przykład w robotach na wózkach inwalidzkich system może wygładzić kurs generowany przez osobę z drżeniem lub dostosować kurs, aby zapewnić większy odstęp od ścian i przeszkód. Command Integration Method, który opisuje, w jaki sposób system integruje swoje polecenia z poleceniami użytkownika, jako kontrola handlowa lub kontrola współdzielona. Stan monitorowany, który określa zmienne i warunki środowiskowe monitorowane i uwzględniane przez system. Zatrzymania awaryjne i granice zakazu lotów są zwykle kojarzone z ruchem strzeżonym, ale zastosowano je w innych warunkach, w tym monitorowaniu robota pod kątem stanu systemu i przegrzania. Tryb interfejsu, który przedstawia informacje teleoperatorowi. Teleoperator zawsze chce wiedzieć, co robi robot. Jeśli robot nagle nie reaguje na polecenia, teleoperator musi wiedzieć, czy jest to awaria robota, utknął, czy też wszedł w niebezpieczny lub zabroniony stan. W samochodach lampka będzie migać po uruchomieniu hamulców z funkcją ABS, jeśli kierowca nie usłyszy lub nie poczuje charakterystycznego szybkiego pompowania lub nie zrozumie, że hałas i wibracje są „normalne” i nie są usterką. Display Preprocessing, który określa przetwarzanie wstępne wykonywane na danych z czujników, zanim zostaną one zaprezentowane teleoperatorowi. Upraszczenie danych w łatwo zrozumiałe informacje jest ważne, ponieważ jeśli coś pójdzie nie tak, teleoperator może nie mieć czasu lub poświęcić uwagę na przejrzanie nieprzetworzonych danych.

Czynniki ludzkie

Biorąc pod uwagę, że telesystem jest rodzajem wspólnego systemu poznawczego, element ludzki jest dla udanego systemu równie ważny jak sprzęt i oprogramowanie. Ludzki element zainteresowania w badaniach teleoperacyjnych dotyczy relacji między teleoperatorem a robotem, chociaż w przypadku telepracy istnieje relacja społeczna między robotem a osobą (osobami) pracującą z robotem lub wokół niego w środowisku zadania. Relacja między teleoperatorem a telefaktorem jest omówiona w literaturze dotyczącej czynników ludzkich i interakcji człowiek-robot, podczas gdy interakcje społeczne są omawiane w literaturze dotyczącej interakcji człowiek-robot omówionej w Części 18. wpływ opóźnienia na wspólny system poznawczy, w jaki sposób ograniczenia poznawcze przekładają się na niezbędną siłę roboczą do bezpiecznego działania i jak zapobiegać problemowi kontroli poza pętlą.

Zmęczenie poznawcze

Teleoperacja nie jest idealnym rozwiązaniem we wszystkich sytuacjach. Wiele zadań jest z natury powtarzalnych i nudnych. Na przykład rozważ użycie joysticka do kierowania samochodem sterowanym radiem; po kilku godzinach ludzie mają tendencję do coraz trudniejszego zwracania uwagi. Jeśli człowiek ręcznie steruje robotem, zadanie jest jeszcze trudniejsze z powodu utraty percepcji głębi; ludzki mózg musi ciężiej pracować, aby zrekompensować utracone informacje, które zostałyby uzyskane z ruchów oka, ruchów głowy, sygnałów dźwiękowych i tak dalej. Podobnie ludzki mózg musi ciężiej pracować, aby przełożyć ludzkie sposoby robienia rzeczy na sposoby robienia rzeczy przez roboty; wysiłek wykonywania działań na odległość został nazwany problemem telekinezy. W wyniku wymagań zadania, utraty percepcji głębi i problemu telekinezy, większość ludzi szybko doświadcza zmęczenia poznawczego; ich uwaga wędruje i mogą nawet odczuwać bóle głowy i inne fizyczne objawy stresu.

EFEKT DZIURKI OD KLUCZA

Ograniczenia poznawcze i zmęczenie mogą być wprowadzone przez wyświetlacz i komponenty czujnika. Wyobraź sobie, że próbujesz sterować samochodem sterowanym radiem, patrząc przez małą kamerę zamontowaną z przodu. Zadanie staje się znacznie trudniejsze z powodu ograniczonego pola widzenia; zasadniczo nie ma widzenia peryferyjnego. Jest to znane jako efekt dziurki od klucza, gdzie teleoperator próbuje zrozumieć otoczenie, patrząc przez dziurkę od klucza w drzwiach lub dziurę w ścianie. Powszechnym, choć błędnym podejściem do efektu dziurki od klucza jest umieszczenie większej liczby kamer na robocie. Może to faktycznie zwiększyć obciążenie poznawcze i wprowadzić błędy, ponieważ operator musi teraz wybierać między punktami widzenia i mentalnie łączyć różne punkty widzenia.

CHOROBA SYMULACYJNA

Bardziej zaawansowane wyświetlacze próbują albo tworzyć symulacje większego środowiska, albo wprowadzać efekty kamery podobne do niewielkich zniekształceń widzenia peryferyjnego w celu zmniejszenia obciążenia poznawczego. Ale nawet jeśli obraz wizualny jest doskonały, teleoperator może zachorować na chorobę symulacyjną z powodu niezgodności między systemem wizualnym wskazującym, że operator się porusza, a uchem wewnętrznym wskazującym, że operator jest nieruchomy. Opóźnienie w komponencie komunikacyjnym może również powodować zmęczenie poznawcze. To męczące, gdy trzeba czekać, aby zobaczyć, jak robot wykonał polecenie przed wydaniem kolejnego polecenia. Wolne tempo jest frustrujące, a także utrudnia skupienie uwagi. Opóźnienie jest omówione osobno, ponieważ ma inny wpływ na powodzenie telesystemu.

Czas oczekiwania

CZAS TELEOPERACYJNY HEURYSTYCZNY

Jednym z problemów związanych z teleoperacją w zastosowaniach kosmicznych, telemedycynie lub aplikacjach na duże odległości jest to, że może być nieefektywna lub niebezpieczna z powodu dużych opóźnień czasowych. Duże opóźnienie może spowodować, że teleoperator wyda pilotowi polecenie, nie zdając sobie sprawy, że narazi to pilota na niebezpieczeństwo lub że może nastąpić nieoczekiwane zdarzenie, takie jak upadek skały, i zniszczy robota, zanim teleoperator zobaczy to zdarzenie i rozkaż robotowi uciekać. Zasadą praktyczną lub heurystyczną jest to, że czas potrzebny na wykonanie zadania przy tradycyjnej teleoperacji rośnie liniowo wraz z opóźnieniem transmisji. Zadanie teleoperacji, które zajęło teleoperatorowi 1 minutę, aby poprowadzić pilota do wykonania na Ziemi, mogło zająć 2,5 minuty na Księżycu i 140 minut na Marsie. Efekty opóźnień są mniej powszechne w aplikacjach naziemnych, ale nadal występują. Na przykład telemedycyna ze szpitala w jednym kraju do szpitala polowego w innym kraju musiałaby borykać się z opóźnieniami sieci. Nawet w sytuacjach, w których nie ma życia i śmierci, takich jak telepraca, kontrolowanie urządzeń przez Internet może być frustrujące, gdy przepustowość może się zmieniać w nieprzewidywalny sposób.

Człowiek: stosunek robota

Praktyczną wadą teleoperacji jest to, że często wymaga ona obsługi więcej niż jednej osoby ze względu na ograniczenia poznawcze jednego teleoperatora. Badania nad teleoperacją robotów naziemnych i statków powietrznych wykorzystywanych na wypadek katastrof pokazują, że efektywniej i bezpieczniej jest prowadzić jedną osobę, a jedna osoba patrzy przez czujniki, nawet jeśli jest jedna kamera do nawigacji i wykrywania misji. Praca Burke'a i Murphy'ego wykazała, że respondenci dziewięciokrotnie częściej znajdowali symulowane ofiary w gruzach za pomocą zdalnie sterowanych robotów, jeśli respondenci pracowali wspólnie w dwuosobowych zespołach. Jest to podobne do posiadania pilota i drugiego pilota w lotnictwie komercyjnym, chociaż może wydawać się przesadą, aby więcej niż jedna osoba sterowała robotem z zaledwie kilkoma efektorami i powierzchniami. Jednak czynnik ludzki sugeruje, że właśnie dlatego potrzeba więcej ludzi; ponieważ „głupi” robot o minimalnej sprawności może wykonywać tylko kilka ruchów lub czynności, określenie właściwego planu w warunkach ograniczeń w złożonym świecie może być bardzo trudne.

BEZPIECZNY STOSUNEK CZŁOWIEKA DO ROBOTA

Stan praktyki projektantów polega na rozpoczęciu od podstawowego bezpiecznego stosunku człowieka do robota, a następnie ustaleniu, czy autonomia i interfejs sprzyjają redukcji siły roboczej. Wyjściowy bezpieczny stosunek człowieka do robota jest następujący:

$$N_h = N_v + N_p + 1$$

N_h to liczba ludzi, N_v to liczba pojazdów, a N_p to liczba ładunków. To równanie powinno być traktowane jako punkt wyjścia do projektowania systemu człowiek-robot, ale wpływ autonomii, interfejsów, wymagań uwagi, rzadkich środowisk itp. na zmniejszenie ograniczeń poznawczych może pozwolić na niższy stosunek człowiek-robot. Bezzałogowy statek powietrzny Predator wymaga co najmniej jednego teleoperatora do pilotowania pojazdu i innego teleoperatora, aby nakazał ładunkowi czujnika patrzeć na określone obszary. Inne UAV mają zespoły złożone z aż czterech teleoperatorów plus piątego członka zespołu, który specjalizuje się w startach i lądowaniach. Ci teleoperatorzy mogą przejść ponad rok szkolenia, zanim będą mogli latać pojazdem. W przypadku UAV teleoperacja pozwala na wykonanie niebezpiecznego, ważnego zadania, ale o wysokim koszcie siły roboczej. Predator jest przykładem tego, jak rodzaj ludzkiej kontroli nadzorczej może dynamicznie zmieniać się na osi czasu misji, która jest luźno sklasyfikowana jako sekwencja inicjacji, wdrożenia i zakończenia. W informatyce ta sekwencja byłaby podobna do pętli programowej składającej się z warunków wejścia pętli, wykonania przypadku stanu ustalonego w pętli i warunków wyjścia pętli. Chociaż głównym celem pętli jest przypadek stanu ustalonego, warunki wejścia i wyjścia są często trudniejsze do zaprojektowania niż przypadek stanu

ustalonego i mogą prowadzić do poważnych błędów programistycznych. Podobnie inicjacja i zakończenie może być trudniejsze w robotyce. W przypadku Predatora autonomię zastosowano tylko w fazie wdrożenia, ignorując możliwości pokładowej inteligencji podczas startu i lądowania, które również są trudne i wiążą się z dużym obciążeniem poznawczym. Ogólnie rzecz biorąc, sztuczna inteligencja może być dostępna dla operacji autonomicznych lub w celu zapewnienia pomocy i zmniejszenia obciążenia pracą związaną z inicjowaniem i kończeniem misji, a także jej wdrażaniem. Predator jest również przykładem dwóch powodów, dla których do sterowania jednym robotem może być potrzebny więcej niż jeden operator. Jednym z powodów jest historycznie wiele osób potrzebnych do obsługi nowej technologii, ponieważ ludzie są ostatecznym rozwiązaniem początkowego kiepskiego projektu. Drugim powodem jest to, że ludzie są liczbami całkowitymi; uważaj, że specjalista od startów i lądowań nie może być używany przez 100% czasu misji, ale musi być dostępny podczas misji. Jak zauważono w badaniu Defense Science Board z 2012 r. dotyczącym autonomii systemów bezzałogowych, projektowanie robotów wojskowych często koncentruje się na sprzęcie, odkładając kwestie kontroli człowieka, czynników ludzkich i autonomii przy założeniu, że można przeszkolić osobę, aby przezwyciężyć ograniczenia systemu sterowania robota. Jednak ludzie nie mogą być szkoleni ponad ich fizjologiczne granice. Z drugiej strony dodanie większej liczby autonomicznych funkcji może zmniejszyć zapotrzebowanie na siłę roboczą; jednak zwiększona automatyzacja może w rzeczywistości obniżyć bezpieczeństwo z powodu problemu ze sterowaniem „człowiekiem poza pętlą”.

Problem kontroli człowieka poza pętlą

PROBLEM KONTROLI CZŁOWIEKA POZA PĘTLI (OOTL)

Przypomnijmy, że forma kontroli handlowej jest inicjowana przez zdalnego robota, gdy napotka problem lub wyjątek i że w przypadku kontroli współdzielonej oczekuje się, że człowiek-operator zauważy i zareaguje na problemy lub wyjątki. W takich przypadkach teleoperacja jest planem awaryjnym dla autonomicznej zdolności. Jednak nie zawsze jest możliwe, aby człowiek zareagował wystarczająco szybko, aby służyć jako niezawodny plan awaryjny. Jest to problem ze sterowaniem przez człowieka poza pętlą (OOTL), w którym człowiek musi nagle zmienić tryby ze sterowania handlowego lub współdzielonego na sterowanie ręczne i ręcznie sterować pilotem w niemodelowanych lub nieoczekiwanych okolicznościach, których automatyzacja nie może uchwycić. Problem ludzkiej kontroli poza pętlą został udokumentowany od lat 60-tych.^{99;118;125} Społeczność zajmująca się czynnikami ludzkimi zauważa, że często występują znaczne opóźnienia w przejmowaniu przez człowieka kontroli nad autonomicznym procesem. Ogólnie rzecz biorąc, im bardziej autonomiczny proces, tym trudniej jest człowiekowi szybko i poprawnie zareagować na problem, ponieważ człowiek nie utrzymuje świadomości sytuacyjnej niezbędnej do kontrolowania procesu i musi go zbudować przed reagowaniem. Budowanie świadomości sytuacyjnej w celu rozwiązania problemu może być trudne, ponieważ proces budowy może wymagać zmiany perspektyw. Egocentryczny, środowiskowy układ odniesienia, jaki posiada specjalista ds. misji patrzący na świat przez kamerę, jest zupełnie inny od egocentrycznego lub ewentualnie mieszanego egocentrycznego/egocentrycznego typu wyświetlaczy kokpitu potrzebnych pilotowi, aby spojrzeć na stan robota. do otoczenia. Różnice w tych dwóch poglądach wydają się trudne do pokonania w kilka sekund. Przykład problemu kontroli człowieka poza pętlą wystąpił w przypadku UAV DarkStar i pokazuje, że „awaria” czynnika ludzkiego generalnie wiąże się z więcej niż jednym naruszeniem zasad projektowania. DarkStar był drogim eksperymentalnym bezzałogowym statkiem powietrznym (UAV) opracowanym w symulacji w celu obniżenia kosztów. Zaawansowane prototypy tych pojazdów mogły latać autonomicznie, ale spodziewano się, że starty i lądowania będą trudniejsze do zarządzania komputerem pokładowym. Jako środek ostrożności, do dyspozycji byli piloci-ludzie-eksperci, którzy mogli przejąć kontrolę nad pojazdem w przypadku napotkania problemów podczas startu. Niestety

DarkStar napotkał problemy podczas startu, ponieważ symulacja nadmiernie uprościła model pasa startowego w klasycznym przypadku założenia o zamkniętym świecie, że wszystkie atrybuty świata można jednoznacznie wyliczyć. DarkStar spektakularnie się zawiesił, zdobywając nieoficjalny przydomek „Darkspot”. W systemie DarkStar przejście w czasie z kontroli poza pętlą do kontroli w pętli było dla ekspertów niemożliwe z dwóch powodów. Po pierwsze, wyświetlacz uniemożliwiał pilotom odpowiednie zdefiniowanie problemu, a tym samym wygenerowanie odpowiedniej odpowiedzi. Wyświetlacz został opracowany do diagnostyki inżynierskiej post-hoc, a nie do sterowania lotem w czasie rzeczywistym, więc zasadniczo był to strumień liczb, odpowiednik budowy telesystemu bez lokalnego komponentu wyświetlacza. Wyświetlacz inżynieryjny pokazał pilotowi, że coś jest nie tak podczas startu, ale pilot nie miał wystarczająco dużo czasu, aby mentalnie połączyć surowe dane z hipotezą problemu i wygenerować poprawkę dla problemu. Projekt wspólnego planu tworzenia kopii zapasowych kontroli nie uwzględniał ograniczeń poznawczych człowieka. Po drugie, plan awaryjny nie uwzględnił siedmiosekundowego opóźnienia spowodowanego wykorzystaniem satelity jako łącza komunikacyjnego. Opóźnienie oznaczało, że nawet jeśli pilot zrozumiał przyczynę odchylenia lotu i wygenerował prawidłową reakcję sterowania, pilot nie mógł otrzymać nowych poleceń wystarczająco szybko, aby zapobiec katastrofie. Wykorzystanie robotów podczas wypadku jądrowego w Fukushima Daiichi pokazało, że teleoperacja może być świadomym wyborem, aby uniknąć problemów z kontrolą człowieka poza pętlą. Bezzałogowy system powietrzny Honeywell T-Hawk® został wykorzystany do przeprowadzenia badań radiologicznych i ogólnej oceny, poczynwszy od czterech tygodni po wypadku. T-Hawk przeleciał około 40 misji na odległość do 1600 metrów od punktu startowego do strefy ekstremalnego promieniowania. T-Hawk miał w pełni autonomiczną nawigację, która pozwalała mu latać po zaprogramowanej trasie i wracać do domu w przypadku napotkania jakichkolwiek problemów. Jednak doświadczeni piloci wyłączyli autonomiczną nawigację i ręcznie oblecieli trasę. Obawiano się, że jeśli robot zacznie zbaczać z oczekiwanej ścieżki, piloci nie będą mieli możliwości dowiedzenia się, czy odchylenie było spowodowane uszkodzeniem przez promieniowanie, czy wiatrem. Piloci woleli pozostać w bezpośrednim kontakcie z systemem, zamiast ryzykować, że funkcje autonomiczne napotkają niemodelowane warunki i zareagują w nieprzewidywalny sposób. W terminologii dotyczącej czynników ludzkich piloci martwili się o pojawienie się sytuacji kontroli człowieka poza pętlą. Sposobem, w jaki zapobiegali tej sytuacji, było bycie w pętli.

Wytyczne dotyczące określania, czy system telekomunikacyjny nadaje się do zastosowania

CHARAKTERYSTYKA ZADANIA

Według The Concise Encyclopedia of Robotics teleoperacja najlepiej nadaje się do zastosowań, w których:

1. Zadania są nieustrukturyzowane i nie powtarzalne. W przeciwnym razie projektant powinien przyjrzeć się dodaniu autonomii.
2. Przestrzeń robocza nie może być zaprojektowana tak, aby pozwalała na użycie manipulatorów przemysłowych. Przestrzeń robocza, takie jak elektrownie jądrowe, zakłady produkcyjne i szpitale, można zaprojektować tak, aby obsługiwały określone zadania i standardowy sprzęt zrobotyzowany. Dostosowanie innych środowisk, takich jak inne planety, tereny zewnętrzne lub katastrofy, do bezpieczeństwa pracowników może nie być możliwe.
3. Kluczowe części zadania sporadycznie wymagają zręcznej manipulacji, zwłaszcza koordynacji ręką-oko. Większość robotów nie ma wystarczającego wyczuwania i planowania (choć to się zmienia), aby wykonać określone zadania. Zlecenie teleoperatorowi wykonania zadania wymagającego zręczności nie jest trywialnym problemem projektowym, a elementy wyświetlacza i sterowania muszą wspierać pracę poznawczą teleoperatora.

4. Kluczowe części zadania wymagają rozpoznawania obiektów, świadomości sytuacyjnej lub innej zaawansowanej percepcji. Jak opisano w części 3, problem uziemienia symbolu pozostaje podstawową barierą w sztucznej inteligencji. Dlatego zadania wymagające tej funkcji mogą wykraczać poza obecne możliwości.

TELEPRESENCE WIRTUALNA RZECZYWISTOŚĆ

5. Potrzeby technologii wyświetlania nie przekraczają ograniczeń łącza komunikacyjnego (przepustowość, opóźnienia czasowe). Problemy z wyświetlaniem i komunikacją były głównym ograniczeniem teleobecności. Telepresence ma na celu to, co popularnie nazywa się rzeczywistością wirtualną, w której operatorzy mają pełną informację zwrotną z czujników i czują się jak robot. Ilość danych o środowisku potrzebna do skutecznego odtworzenia sytuacji dla teleoperatora zazwyczaj przekracza możliwości komponentu komunikacyjnego.

6. Dostępność przeszkolonego personelu nie stanowi problemu. W niektórych sytuacjach, takich jak eksploracja kosmosu, telefaktor może być wspierany przez dziesiątki lub setki techników i naukowców. W innych, takich jak reagowanie na katastrofy, dostępnych jest niewielu ekspertów.

Przykłady Telesystemów

Teleoperacja jest popularnym rozwiązaniem do sterowania pilotami, ponieważ możliwości technologii AI nie są nawet zbliżone do ludzkich kompetencji, zwłaszcza w zakresie percepcji i podejmowania decyzji. Jednym z przykładów teleoperacji jest eksploracja podwodnych miejsc, takich jak Titanic. Posiadanie ludzkiej kontroli nad robotem jest korzystne, ponieważ człowiek może odizolować obiekt zainteresowania, nawet jeśli jest częściowo zasłonięty błotem w mętnej wodzie.²¹¹ Ludzie mogą również wykonywać zręczne manipulacje (np. wkręcać nakrętkę na śrubę), co jest bardzo trudne do zaprogramowania manipulatora. Innym przykładem jest robot Sojourner pokazany na rysunku 2.7, który eksplorował Marsa od 5 lipca do 27 września 1997 roku, aż przestał odpowiadać na polecenia radiowe. Ponieważ było niewiele danych na temat tego, jak wyglądał Mars przed przybyciem Sojournera, trudno było opracować czujniki i algorytmy, które mogłyby wykryć ważne atrybuty, a nawet zaprojektować algorytmy sterujące poruszaniem robota. Ważne jest, aby wykryć wszelkie nietypowe skały lub formacje skalne (takie jak pomarańczowa skała, którą dr Schmitt znalazł na Księżycu podczas misji Apollo 17). Ludzie są szczególnie biegli w percepcji, zwłaszcza w dostrzeganiu wzorów i anomalii na obrazach. Zdolności percepcyjne AI w tamtym czasie znacznie odbiegały od ludzkich zdolności. Ludzie są również biegli w rozwiązywaniu problemów. Przypomnijmy z wcześniejszej książki, że poduszki powietrzne statku Mars Pathfinder nie opróżniły się prawidłowo, a kontrola naziemna wysłała polecenia, aby cofnąć płatki i ponownie je otworzyć. Ten rodzaj rozwiązywania problemów jest niezwykle trudny, biorąc pod uwagę obecne możliwości sztucznej inteligencji. Wykorzystanie robotów naziemnych podczas katastrofy jądrowej w Fukushima Daiichi w 2011 r. stanowi dodatkowy przykład użyteczności teleoperacji. Roboty zdalnie sterowane były z powodzeniem wykorzystywane do oceny uszkodzeń budynków reaktora, usuwania gruzu z dróg i punktów dostępu, badania zasięgu i wielkości promieniowania oraz pompowania wody w celu chłodzenia reaktorów. Wykorzystanie robotów uwydatniło ograniczenia poznawcze narzucane przez czujniki na pilocie i na wyświetlaczu lokalnie. Potrzebne były dwa roboty, aby jeden robot mógł wykonać zadanie (patrz rysunek 5.10). Poza budynkami reaktora małe roboty budowlane Bobcat[®] zostały przystosowane do teleoperacji przez QinetiQ w celu usuwania gruzu i zakopywania materiałów radioaktywnych, aby umożliwić załogom i większemu sprzętowi dostęp do budynków. Mały, zwiny robot bombowy został sparowany z robotem budowlanym. Robot bombowy mógł poruszać się wokół Bobcata, aby teleoperator mógł zobaczyć, czy przednie wiadro do przenoszenia brudu i gruzu dotyka ziemi. Wewnątrz budynków reaktora iRobot Packbots[®] były używane parami, aby przedostać się przez

gruz i wykonać zadania manipulatora, takie jak otwieranie drzwi. Jeden robot wykonał zadanie, ale drugi robot służył jako wizualny asystent.

Podsumowanie

Ta część dotyczy teleoperacji i telesystemów, które historycznie były pierwszymi próbami zaprojektowania inteligentnych robotów. Telesystem to system człowiek-maszyna, w którym człowiek lub teleoperator na lokalnym wyświetlaczu wykorzystuje łącze telekomunikacyjne do sterowania zdalnym robotem, który jest poza zasięgiem wzroku. Zdalny robot lub telefaktor zapewnia wykrywanie, mobilność, efekty i moc, ale może również mieć sterowanie na pokładzie. Teleoperacja powstała jako rozwiązanie tymczasowe lub hakierskie do zadań, które wymagały robotów, ale roboty nie mogły być odpowiednio zaprogramowane do prawidłowego działania na ich własny. Problem ten wywołał debatę, w której kwestionowano, czy teleoperacja jest „tymczasowym złem” na drodze do autonomii, czy też jest innym stylem sztucznej inteligencji. Teraz teleoperacja jest rozpoznawana jako inny styl sztucznej inteligencji, który pomaga ludziom w uzyskaniu zdalnej obecności w odległym środowisku. Teleoperacja nie jest już uważana za „tymczasowe zło” na drodze do prawdziwej autonomii, ale raczej jako jeden z aspektów ludzkiej kontroli nadzorczej. Zrozumienie teleoperacji ma kluczowe znaczenie, ponieważ jest to prawdopodobny tryb kontroli, gdy sztuczna inteligencja dla odpowiedzialnego agenta zawodzi. Teleoperacja, jako aspekt kontroli nadzorczej przez człowieka, rodzi pytanie, czym jest kontrola nadzorcza przez człowieka? Kontrola nadrzędna przez człowieka odnosi się do spektrum sposobów, w jakie ludzie i maszyny mogą współdziałać w celu wykonania zadań, od ręcznego sterowania zdalnym robotem do pełnego delegowania całego zadania do robota. Spektrum stworzyło różne terminy, często zgrupowane pod nazwą semi-autonomii. To z kolei rodzi pytania, czym jest półautonomia? i Czym różnią się cztery tryby półautonomii? Półautonomia odnosi się do trybów sterowania człowiek-maszyna, w których człowiek nie może bezpośrednio obserwować robota w środowisku zadania, a częściami zadania kieruje robot, a nie człowiek. W kontroli handlowej zadanie jest podzielone na części, w których dobrze radzi sobie człowiek lub robot. Kiedy zadanie osiąga punkt, w którym wiedza jednego agenta zostaje przekroczona, dominująca kontrola przesuwa się lub przechodzi na drugiego agenta. Przy współdzielonej kontroli zarówno człowiek, jak i robot pracują jednocześnie nad aspektami zadania. Ruch strzeżony jest prawdopodobnie najbardziej rozpowszechnionym zastosowaniem współdzielonej kontroli. W ruchu strzeżonym agent robota w rzeczywistości unieważnia lub modyfikuje polecenia sterujące agenta ludzkiego. Ruch strzeżony jest doskonałym przykładem tego, jak roboty są fizycznie usytuowanymi agentami i dzięki temu mogą rozumieć lepiej, a na pewno szybciej, niż człowiek, który nie znajduje się w środowisku. Dwa główne nieporozumienia dotyczące widma ludzkiej kontroli nadzorczej to: 1) reprezentuje hierarchię inteligencji, gdy jest to po prostu konwencja etykietowania, oraz 2) każde zadanie ma jeden tryb kontroli nadzorczej, gdy większość implementacji pokazuje, że tryb kontroli zmienia się dynamicznie wraz z etapami misji. Ponieważ teleoperacja to inny styl sztucznej inteligencji, niezbędne staje się zrozumienie, do jakich dziedzin zadań przydatne są telesystemy. Istnieje sześć wskazówek dotyczących identyfikacji domeny zadań, w której korzystanie z telesystemu może się powieść. W przeciwnym razie rozwiązaniem może być zaprojektowanie środowiska, aby pomieścić roboty lub ponowne przemyślenie misji. Zastosowania, takie jak eksploracja planety Marsa, prezentują środowiska zadań, których nie można zaprojektować tak, aby umożliwić nieinteligentne roboty. Zastosowania naziemne, takie jak wykorzystanie robotów naziemnych w wypadku jądrowym w Fukushima Daiichi do wchodzenia do elektrowni, badania, przenoszenia śmieci i umieszczania czujników, pokazują, że teleoperacja jest potrzebna, gdy zadania są nieustrukturyzowane, nowe lub wymagają zręcznej manipulacji. Metody teleoperacji są zazwyczaj męczące poznawczo, wymagają dużej przepustowości komunikacji i krótkich opóźnień w komunikacji oraz wymagają jednego lub więcej teleoperatorów na pilota, zgodnie z formułą bezpiecznego stosunku człowiek:robot. Techniki teleobecności próbują

stworzyć bardziej naturalny interfejs dla człowieka do kontrolowania robota i interpretowania tego, co robi i widzi, ale przy wysokich kosztach komunikacji. Zmniejszone zmęczenie poznawcze i ogólna wytrzymałość telesystemu zależą od dostępności propriocepcji, eksterocepcji i, często pomijanej, ekspropriocepcji. Teleoperacja jest domyślnym planem tworzenia kopii zapasowych dla odpowiedzialnego agenta, ale przejęcie i wyjście z anomalii przez człowieka może nie być poznawczo możliwe. Wreszcie, ten rozdział powinien wzmocnić pogląd, że kluczem do stworzenia sztucznie inteligentnych robotów jest coś więcej niż tylko dodanie wyrafinowanych algorytmów. Obejmuje dokładne rozważenie roli człowieka „w pętli”, „w pętli” lub „poza pętlą”. Robotyka AI obejmuje również zrozumienie ekologii środowiska zadań i tego, jak możliwości robota muszą pasować do tej ekologii; ta ekologia jest sercem robotyki reaktywnej, na której skupiają się kolejne pięć części