

## Interakcja Człowiek-Robot

- \* Zdefiniuj interakcję człowiek-robot (HRI) i wyszczególnij co najmniej jeden sposób, w jaki badanie HRI wykorzystuje spostrzeżenia z każdego powiązanego obszaru: interfejsy człowiek-komputer (HCI), psychologia i komunikacja.
- \* Wymień i rozróżnij trzy typy interfejsów użytkownika (diagnostyczny, operacyjny i objaśniający), które robotnik może mieć do zbudowania dla udanego inteligentnego systemu robota.
- \* Biorąc pod uwagę aplikację, określ, czy obejmuje ona interakcje fizyczne, poznawcze czy społeczne/emocjonalne.
- \* \* Zdefiniuj trzy poziomy świadomości sytuacyjnej. Mając opis aplikacji robota, określ, gdzie manifestują się te poziomy.
- \* Zdefiniuj zaufanie i wymień pięć sposobów, w jakie roboty mogą zwiększyć zaufanie.
- \* Napisz wzór na bezpieczny stosunek człowieka do robota. Mając opis zastosowania robota, użyj wzoru, aby uzasadnić wymaganą odpowiednią siłę roboczą.
- \* Opisz cztery metody gromadzenia danych dotyczących interakcji człowiek-robot: wywiady, ankiety i dzienniki; obserwacja; biometria; i specjalistyczne testy.
- \* Opisz pięć kategorii wskaźników systemu interakcji człowiek-robot: produktywność, wydajność, niezawodność, bezpieczeństwo i współpraca.
- \* Wyjaśnij różnicę między rozpoznawaniem mowy, rozumieniem języka oraz fazami generowania języka i syntezy mowy w rozumieniu języka naturalnego i opisz aktualny poziom każdego z nich.
- \* Opisz trzy podejścia do rozumienia języka, słów, składni i semantyki oraz jak mogą być używane przez roboty.
- \* Zdefiniuj zespół, tworzenie sensu, Dolinę Niesamowitości, wspólną płaszczyznę, przekonania, pragnienia, intencje (BDI), Czarnoksiężnik z Krainy Oz (WOZ), gesty deiktyczne i gesty sygnalizacyjne.

## Przegląd

Chociaż projektanci lubią myśleć o inteligentnych robotach jako samodzielnych agentach, zawsze gdzieś w systemie jest człowiek, albo „za” robotem jako operator, albo interesariusz tego, co robi robot, „przed” robotem będącym wspomaganym przez robota lub mające celowe interakcje lub „obok” robota w miejscu pracy, w którym akurat się znajduje. Obecnie robotyka koncentruje się na interakcji z osobami specjalnie przeszkolonymi i odpowiedzialnymi za prawidłowe działanie systemu – pilotem lub operatorem „za” platformą. Ta koncentracja na pilotach i operatorach ignoruje innych interesariuszy „za” takich jak konserwatorzy, trenerzy oraz ci, którzy testują i oceniają system. Więcej uwagi poświęca się interakcji robotów z ludźmi, którzy nie są przeszkoleni lub nie są za nie odpowiedzialni. Ci ludzie są „przed” robotem, na przykład cywile w mieście, przez które przejeżdża autonomiczny samochód. W teorii agent powinien być w stanie przekazać, co użytkownik ma zrobić i wzbudzić zaufanie. Użytkownicy lub osoby postronne polegają na wcześniejszych doświadczeniach, oczekiwaniach itp., aby pomóc określić, co robić i jak reagować; jeśli nie mają doświadczenia z systemem, często przeceniają inteligencję, zdolności, świadomość i wytrzymałość agenta. W systemach bezzałogowych cywile często podchodzą do robotów, dotykają ich i obchodzą się z nimi w niewłaściwy sposób, powodując w ten sposób uszkodzenia, lub oczekują, że roboty będą bezpiecznie pracować wokół nich. Niektórzy badacze zaczynają zastanawiać się, w jaki sposób systemy bezzałogowe działają jako prawie równorzędny lub członek zespołu, na przykład robot-muł, który nie

powinien przetaczać się po żołnierzach leżących na ziemi, drzemących. Interakcja człowiek-robot nie ma dokładnej definicji. Po warsztatach fundamentalnych, które ustanowiły dziedzinę HRI, 35 celem jest umożliwienie „... synergicznych zespołów ludzi i robotów, w których członkowie zespołu wykonują zadania zgodnie ze swoimi umiejętnościami”.

## **DOLINA NIESAMOWITOŚCI**

Przyjmując to jako roboczą definicję, jasne jest, że dziedzina interakcji człowiek-robot poświęcona jest bogatym interakcjom między robotami a ludźmi, a ten rozdział opisuje, w jaki sposób sztuczna inteligencja jest kluczowym elementem dobrej interakcji człowiek-robot. Obejmuje, jak ludzie i roboty mogą współpracować w zespole. Przygląda się również sytuacjom, w których roboty wydają się przerażające. Termin Dolina Niesamowitości został wymyślony przez Mori, aby wyjaśnić, że kiedy fizyczny realizm humanoidalnego robota jest bardzo wysoki, ale niewystarczająco wysoki, aby był doskonały, niesamowite podobieństwo do człowieka zmienia się z interesującego w przerażające.

## **ZESPÓŁ**

Zbiór bogatych interakcji może być błędnie nazywany zespołami człowiek-robot, ponieważ „zespół” jest często używany do konotowania dowolnego zespołu osób pracujących nad wspólnym działaniem. Jednak „zespół” oznacza coś innego w psychologii organizacyjnej i poznawczej. Jak zauważył Klein w kognitywistyce, zespół oznacza ludzi, którzy pracowali razem, mają praktyki zawodowe i będą (i wiedzą, jak) sobie nawzajem pomagać. Uformowanie się ludzkiego zespołu może zająć miesiące lub lata; zastanów się nad różnicą między drużyną pickupów na mecz koszykówki a profesjonalną drużyną koszykówki. W szczególności weź pod uwagę różnicę, jaką praktyka, inwestycje w konsekwencje itp. wpływają na wyniki zespołu. Grupy ludzi pracujących razem, które nie tworzą prawdziwego zespołu, są określane jako zespoły ad hoc. Projektowanie interakcji człowiek-robot jest często motywowane przez projektantów i użytkowników zadających następujące pytania. Użytkownicy pytają: Ile osób potrzeba do uruchomienia robota? aby mogli zaplanować wpływ organizacyjny i ekonomiczny. Projektanci często mają nierealistyczne oczekiwania dotyczące zmniejszenia stosunku ludzi do robotów. Projektanci pytają też: Jak podzielić obowiązki czy role? i Jak ludzie lubią wchodzić w interakcje z robotami? Zrozumienie odpowiedzi na te pytania jest niezbędne do udanej rozrywki i robotów wspomagających, ale odpowiedzi mają również wpływ nawet na rutynowe, zorientowane na zadania interakcje. Czy roboty i ludzie muszą się rozumieć (np. czy muszą mieć wspólny model poznawczy)? Użytkownicy często pytają: Dlaczego nie mogę po prostu powiedzieć robotowi, co ma zrobić, ponieważ wtedy nie muszę się martwić o interfejsy i sterowanie? ponieważ nie są świadomi ukrytej inteligencji potrzebnej robotom do zrozumienia języka naturalnego. Postaram się odpowiedzieć na wszystkie te pytania. Część rozpoczyna się od przedstawienia taksonomii interakcji, w której system człowiek-robot ma sposób współpracy i styl zaangażowania poznawczego, który wpływa na projekt. Dzięki ustalonej taksonomii łatwiej jest dostrzec wkład do HRI w dziedzinie interfejsów człowiek-komputer, psychologii i komunikacji oraz dlaczego HRI czerpie w dużym stopniu z tych trzech dziedzin, ale pozostaje wyjątkowy. Pierwszym krokiem w projektowaniu udanych interakcji człowiek-robot jest modelowanie dziedzin pracy, użytkowników i ich oczekiwanych interakcji z robotem (robotami). Analiza zadań poznawczych i analiza pracy poznawczej to dwa powszechne podejścia do modelowania. Po zrozumieniu dziedziny pracy można określić stosunek człowiek:robot wymagany do bezpiecznej obsługi robota. Po ustaleniu ról ludzi i robotów interfejsy użytkownika obsługujące każdą klasę użytkowników stają się prostsze. Projekt interfejsu użytkownika opiera się na zasadach zwięźle podsumowanych jako osiem złotych zasad. Zakłada się, że dobry interfejs użytkownika wspiera świadomość sytuacyjną, a rozdział bada formalne definicje świadomości sytuacyjnej i związaną z nią koncepcję tworzenia sensu. Biorąc pod uwagę założenie użytkowników, że dobry interfejs w języku naturalnym wyeliminuje większość, jeśli nie wszystkie, z ich problemów z HRI,

cała sekcja poświęcona jest językowi naturalnemu i dlatego nadal stanowi wyzwanie dla AI. Sekcja omawia również komunikację multimodalną, w której agenci używają gestów i póż, aby wyjaśnić i wzmocnić to, co próbują przekazać. Zaufanie jest uważane za wynik dobrego projektu interakcji człowieka z robotem, dlatego w rozdziale poświęcono mu część oraz czynniki, które wpływają na zaufanie użytkownika do systemu. Testowanie interakcji człowiek-robot różni się od testowania programu komputerowego lub projektu sprzętu i obejmuje różne techniki zbierania ważnych informacji od użytkowników. Część kończy się obserwacjami, w jaki sposób sztuczna inteligencja może pomóc w dobrej interakcji człowieka z robotem.

### **Taksonomia interakcji**

Ponieważ inteligentne roboty mają coraz więcej zastosowań, wciąż pojawiają się nowe sposoby interakcji robotów i ludzi. Wczesne podejścia do HRI próbowały kategoryzować bogatą różnorodność interakcji przy użyciu relacji, takich jak przełożony, rówieśnik, podwładny i tak dalej. Te taksonomie nie odniosły sukcesu w określaniu podstawowych wyzwań obliczeniowych w projektowaniu wykonalnego HRI, po części dlatego, że dana osoba może utrzymywać kilka relacji z inną osobą, na przykład być przełożonym, a także przyjacielem, co prowadzi do mieszanych odpowiedzi. Alternatywą dla używania relacji społecznych jako deskryptorów jest rozważenie sposobów współpracy robotów i ludzi oraz stylu wspólnego systemu poznawczego. Ta taksonomia koncentruje się na uchwyceniu wpływu współpracy na inteligencję obliczeniową.

### **TRYBY WSPÓŁPRACY HRI**

Trzy podstawowe tryby współpracy HRI to:

- \* Fizyczny, w którym robot i osoba są w bezpośrednim kontakcie fizycznym, takim jak robotyka chirurgiczna, lub pośredni kontakt fizyczny, taki jak wspólne podnoszenie ładunku. W fizycznym HRI nacisk kładziony jest na zapewnienie bezpieczeństwa osoby (osób).
- \* Poznawcze, gdzie robot i osoba biorą udział we wspólnej pracy, takiej jak rozbijanie bomby.
- \* Społeczny/emocjonalny, gdzie robot jest zaprojektowany tak, aby wpływać na sposób, w jaki dana osoba reaguje na robota w sposób wyraźny, np. dla rozrywki, lub pośredni, np. jako pomoc szkoleniowa w przypadku autyzmu.

### **WSPÓLNY SYSTEM POZNAWCZY**

Poznawczy tryb współpracy ma style zaangażowania poznawczego. Kiedy roboty i ludzie wchodzi w interakcję, istnieje pewna wspólnota, to znaczy istnieją pewne mechanizmy, dzięki którym te dwa rodzaje agentów wchodzi ze sobą w interakcje. Mechanizmy te mają komponent poznawczy, w którym osoba i robot myślą i reagują na ten sam świat i zadanie, w sposób dorozumiany lub jawny. To wspólne poznanie może być dzielone, gdy dwaj agenci wyraźnie ściśle współpracują ze sobą nad zadaniem. To, w jaki sposób maszyny i ludzie wchodzi w interakcje, aby osiągnąć swoje cele, Woods i Hollnagel nazwali wspólnym systemem poznawczym. Termin „system” jest używany, ponieważ maszyny i ludzie niekoniecznie stanowią zespół. Te zaangażowania poznawcze można luźno podzielić na:

### **AGENT ZADANIOWY**

- \* agent zadaniowy, gdzie robot jest traktowany jako niezależny agent, któremu deleguje się pewien stopień autonomii i inicjatywy. Wprowadza to wyzwania poznawcze polegające na skutecznym delegowaniu zadania i zaufaniu, że agent wykona zadanie lub zaalarmuje człowieka o problemach w odpowiednim czasie.

## ZDALNA OBECNOŚĆ

\* zdalna obecność lub widok pierwszoosobowy, gdzie robot jest przedłużeniem człowieka w czasie rzeczywistym w środowisku lub sytuacji, w której człowiek nie może być. Wprowadza to poznawcze wyzwania mediacji i nowe zadania, w których człowiek- system robota próbuje czegoś nowego, co zwiększa osobisty stres.

## AGENT WSPOMAGAJĄCY

\* agent pomocniczy, w którym robot znajduje się razem z człowiekiem, aby pomóc osobie. Wprowadza to poznawcze wyzwania związane z tworzeniem i utrzymywaniem mentalnych modeli tego, jakie są intencje i oczekiwania drugiej osoby, oraz zgodności społecznej.

Tabela przedstawia macierz przykładów interakcji człowiek-robot jako skrzyżowanie stylu współpracy i mechanizmu zaangażowania.

	taskable agent	remote presence	assistive agent
social/ emotional	museum robots	telecommuting	Paro
cognitive	driverless cars	drones	weight loss coach
physical	kiva warehouse	DaVinci surgical	smart wheelchair

## Wkład HCI, psychologii, komunikacji

Jak zauważono podczas warsztatów z 2001 r., które zapoczątkowały tę dziedzinę, interakcja człowiek-robot jest skrzyżowaniem trzech głównych dyscyplin: interfejsów człowiek-komputer, psychologii i komunikacji.

## Interakcja człowiek-komputer

Interakcja człowiek-robot jest związana z dziedzinami interfejsów człowiek-komputer (HCI) i grup roboczych wspomaganých komputerowo (CSWG); te dwa pola są czasami nazywane CHI dla interakcji komputer-człowiek. HCI koncentruje się na sposobie interakcji ludzi z komputerami. Dziedzina ta obejmuje wiele podobszarów, w tym ergonomię, czynnik ludzki, użyteczność i interfejsy multimodalne. Ogólnie rzecz biorąc, projektanci interfejsów komputerowych mają model tego, co użytkownik musi zrobić oraz preferencje i oczekiwania użytkownika dotyczące tego, jak to zrobić. HCI różni się od HRI, ponieważ komputery się nie poruszają, ale roboty tak. HCI oferuje wiele zasad projektowania interfejsów. Niektóre szczególnie istotne dla robotów to:

- \* Unikaj przeciążenia wizualnego, zwłaszcza podczas wyświetlania wielu okien i widoków z kamery.
- \* Stosuj formalne metody testowe, ponieważ projektant (lub jego/jej współpracownik) nie jest użytkownikiem końcowym, a zdolność projektanta do korzystania z interfejsu lub jego polubienia nie jest wiarygodnym predyktorem tego, czy użytkownik końcowy może z niego korzystać lub go polubić.
- \* Preferuj proste wyświetlacze oszczędnie wykorzystujące kilka kolorów i przestrzegaj konwencji, takich jak: Czerwony oznacza „stop” lub „zły”.

\* Należy pamiętać o „przechwytywaniu wizualnym”, gdy użytkownik zwykle ogląda ruch w filmach i ignoruje inne wyświetlane informacje.

\* Zastosuj zasadę dziesięciu minut: Jeśli użytkownik nie może użyć robota w ciągu dziesięciu minut, odrzuci robota.

\* Zminimalizuj liczbę kliknięć lub menu rozwijanych potrzebnych do wykonania ważnych lub często występujących funkcji.

\* Pamiętaj, że użytkownicy zapoznają się z systemem z biegiem czasu, to znaczy z nowicjuszy stają się ekspertami, a interfejs zaprojektowany tylko po to, aby pomóc nowicюзom, może przeszkadzać użytkownikom, gdy stają się bardziej ekspertami.

## **Psychologia**

### **ERGONOMIA**

Interakcja człowiek-robot jest związana z psychologią, w szczególności z dziedzinami inżynierii kognitywnej i psychologii organizacji przemysłowych. Psychologia zajmuje się procesami zespołowymi, zwłaszcza tym, jak ludzie pracują w grupach, funkcjonują w zespołach ad hoc, które powstają nagle, takich jak gra w koszykówkę, i działają w bardzo skutecznych zespołach, które mają duże doświadczenie we wspólnej pracy, takich jak sporty zawodowe zespoły. Psychologia zajmuje się również informatyką społeczną, zwłaszcza kto w grupie lub zespole ma jaką rolę, kiedy członek zespołu pełni rolę, w jaki sposób członkowie zespołu wchodzi w interakcje i zmieniają role/obowiązki oraz jak członkowie pasują do organizacji? Głównym tematem jest odporność lub to, jak ludzie pracujący razem mogą sobie nawzajem pomagać, aby osiągnąć większe wspólne cele. Psychologia często zajmuje się ergonomią, która koncentruje się na tym, jak maszyny mogą najlepiej działać w ramach fizycznych i neurofizjologicznych zdolności ludzi. Te modele procesów zespołowych, informatyki społecznej i odporności mogą być wykorzystane jako podstawa procesów zespołowych człowiek-robot, jak przedstawił Clifford Nas. Psychologia oferuje również wiele wglądów w myślenie o HRI. Niektóre ważne dla robotyki to:

\* Introspekcja wprowadza w błąd; sposób, w jaki myślisz, często nie jest tak naprawdę tym, jak myślisz. Dlatego powiedzenie „myślę o problemie w ten sposób i powiem ten tok rozumowania” ma niewielką wartość w zwiększaniu inteligencji robota.

\* Ludzie mogą zarządzać tylko ograniczoną liczbą „fragmentów” informacji, która zgodnie z prawem Millera wynosi  $7 \pm 2$  lub 5 do 9 fragmentów; szkolenie ludzi w zakresie zapamiętywania długich sekwencji lub zarządzania dużą liczbą danych wejściowych lub działań może działać w optymalnych warunkach, ale ludzie mają skłonność do zapominania i popełniania błędów.

\* Ludzie różnią się w zależności od poziomu umiejętności, kultury, warunków społeczno-ekonomicznych, wieku, doświadczenia, osobowości i reakcji na stres. Testowanie HRI bez prawdziwie reprezentatywnej próby użytkowników końcowych jest mylące i niewiarygodne. Jak wspomniano wcześniej, kolega z biura lub kolega rzadko odzwierciedla dane demograficzne, szkolenie, zestaw umiejętności i zainteresowania użytkownika końcowego.

## **Komunikacja**

Komunikacja to dziedzina badająca media. Jest to szczególnie istotne w przypadku HRI, ponieważ informacje i polecenia do i za pośrednictwem robota lub komputera są przekazywane przez robota lub komputer. Komunikacja również przecina się z HCI, badając, w jaki sposób ludzie komunikują się ze sobą i z maszynami, zwłaszcza werbalnie i za pomocą sygnałów, ale różni się od HCI tym, że

komunikacja koncentruje się bardziej na tym, co zostało powiedziane i dlaczego. Teoria komunikacji jest głównym motorem badań nad robotyką społeczną, na przykład nad robotą przy łóżku. Komunikacja oferuje wiele wglądów w myślenie o HRI, z których najważniejsze to:

### **RÓWNANIE MEDIÓW**

\* Równanie mediów, które mówi, że media = prawdziwe życie lub że ludzie traktują media tak, jakby były ludźmi. Począwszy od pracy Reevesa i Nassa z interaktywnymi komputerami i paradygmatem Computers Are Social Actors, udokumentowano, że ludzie podświadomie traktują wszystko, co się porusza, jakby było żywe. Ludzie oczekują tej samej konsekwencji działania, tego samego szacunku dla przestrzeni osobistej (tzw. proksemika) i tych samych sygnałów intencji, jakie otrzymaliby od psa, innych zwierząt czy innej osoby.

\* Ludzie nie ufają i nie akceptują robotów, jeśli nie zachowują się w sposób zgodny ze zwierzętami lub innymi ludźmi. Jeśli robot wygląda i działa mądrzej niż w rzeczywistości, powoduje to dysonans poznawczy i nieufność.

\* Reakcja ludzi na pracę z robotami lub w ich pobliżu często ewoluuje z czasem. Testowanie, czy ludzie lubią robota z tylko początkową interakcją, podobnie jak „test smaku” żywności, może dać wątpliwe wyniki. Robot, który na początku jest znośny, z czasem może być irytujący.

### **Interfejsy użytkownika**

Interfejsy użytkownika umożliwiają interakcję z robotem osobom pracującym bezpośrednio z robotem. Rodzaj i zawartość interfejsu zależy od celu użytkownika. Istnieją trzy rodzaje interfejsów użytkownika, które robotnik będzie musiał zastosować w inteligentnym systemie robota.

### **DIAGNOSTYCZNY INTERFEJS UŻYTKOWNIKA**

Diagnostyczne interfejsy użytkownika mają na celu umożliwienie projektantowi robota dostępu do szczegółowych informacji o działaniu robota i poszczególnych algorytmów. Tego typu interfejsy często zawierają zbyt wiele szczegółów na temat robota, a zbyt mało kontekstu rzeczywistego działania robota.

### **OPERACYJNY INTERFEJS UŻYTKOWNIKA**

Zamiast tego użytkownicy końcowi potrzebują operacyjnego interfejsu użytkownika, który umożliwia pomyślną i bezpieczną obsługę robota, również w wyjątkowych przypadkach. Użytkownikiem końcowym może być operator robota, na przykład technik oddziału bombowego, lub specjalista od misji, na przykład kierownik ds. sytuacji awaryjnych, który analizuje informacje przychodzące z BSP. Interfejs użytkownika dla operatora robota „za” robotem jest często nazywany jednostką sterującą operatora (OCU) lub stacją sterowania operatora, gdy tylko operator wchodzi w interakcję z robotem. Wygląd i styl interfejsu jest często centralnym punktem projektowania interfejsu użytkownika. Skupienie się na wyglądzie i dotyku może odwrócić uwagę projektanta od rozważenia bardziej subtelnych aspektów tego, jak interfejs użytkownika wpływa na tworzenie i utrzymywanie świadomości sytuacyjnej. Ponieważ świadomość sytuacyjna zależy od roli osoby korzystającej z robota, każdy użytkownik może wymagać unikalnego interfejsu użytkownika.

### **WYJAŚNIAJĄCY INTERFEJS UŻYTKOWNIKA**

Trzecia odmiana interfejsu użytkownika, objaśniający interfejs użytkownika, może być potrzebna, aby umożliwić dziennikarzom, sponsorom lub VIP-om korzystanie z robota i docenienie jego wewnętrznych funkcji.

## Osiem złotych zasad projektowania interfejsu użytkownika

Schneiderman i Plaisant zebrali Osiem Złotych Zasad dotyczących projektowania interfejsu użytkownika:

1. Dąż do spójności. Spójność oznacza, że te same działania prowadzą do tych samych rezultatów w podobnych sytuacjach lub że kolory mają to samo znaczenie we wszystkich przypadkach (np. czerwony to „zły”, „stop” lub „alert”). Jednym z przykładów spójności jest użycie kontrolera Futaba lub konwencji kontrolera gier wideo dla joysticków. Choć istnieją dowody na to, że konwencja kontrolera radiowego Futaba wprowadza problemy w zakresie sterowania robotami, jest ona powszechna i dlatego zasługuje na użycie zamiast próbowania stworzenia nowego lub lepszego kontrolera. Podobnie, klawiatury Dvoraka i Colemana są bardziej wydajne, ale QWERTY pozostaje standardem, ponieważ więcej osób je zna.

2. Zadbaj o uniwersalną użyteczność. Uniwersalna użyteczność umożliwia korzystanie z robotów osobom o różnym pochodzeniu, wieku i doświadczeniu, w tym osobom niepełnosprawnym. Ale uniwersalna użyteczność jest szersza. Przykładem potrzeby uniwersalnej użyteczności są przejściowe interfejsy użytkownika. Interfejs użytkownika, który działa dobrze dla początkujących, taki jak interfejs kontrolera gier, może nie działać dobrze dla użytkowników, którzy stają się bardziej ekspertami lub chcą wykonywać bardziej eksperckie zadania. Interfejsy użytkownika mogą umożliwić ekspertom korzystanie ze skrótów, klawiszy zasilania, zmiany mapowania klawiszy lub tworzenia makr.

3. Oferuj informacje zwrotne. Informacje zwrotne pomagają użytkownikowi nadążyć za stanem robota, zwłaszcza jeśli polecenia zostały wykonane. Na przykład, jeśli robot zmieni tryb, powinna pojawić się pewna wskazówka, taka jak pojawienie się ikony lub zmiana na pasku stanu, aby zasygnalizować, że tryb się zmienił lub robot może emitować sygnał dźwiękowy lub zarówno sygnały dźwiękowe, jak i wizualne mogą być produkowane. Ważne jest, aby unikać nadużywania informacji zwrotnych, a tym samym irytowania użytkownika; zasada jest taka, że informacja zwrotna powinna być proporcjonalna do znaczenia i rzadkości działania.

4. Zaprojektuj okna dialogowe, aby zapewnić zamknięcie. Idee dialogów i zamknięcia często manifestują się w sekwencjach. Większość misji robotów ma fazę inicjacji, po której następuje faza wykonania i zakończenia. Rodzaje działań i opcje generalnie zmieniają się w każdej fazie. Na przykład ikony funkcji mogą pojawiać się i znikać w zależności od fazy. Interfejs bezzałogowego statku powietrznego gotowego do startu może wyświetlać ikonę automatycznego startu, ale nie ikony powrotu do domu lub automatycznego lądowania. Te ikony będą widoczne, gdy UAV wyjdzie z fazy startu.

5. Zapobiegaj błędom. Wydaje się oczywiste, że interfejs użytkownika powinien zapobiegać błędom. Podczas gdy monitorowanie postępów misji i wykrywanie problemów to funkcje deliberacyjne, interfejs może pomóc nawet bez sztucznej inteligencji. Może zapobiegać błędom, wymagając wiadomości potwierdzającej lub dodatkowego naciśnięcia przycisku

działania o dużym znaczeniu, takie jak wyłączenie silników, lub może dostarczać pomocnych przypomnień lub łatwo dostępnych funkcji pomocy.

6. Pozwól na łatwe odwrócenie działań. Odwrócenie działań może być trudną koncepcją dla robotyki, ponieważ działania fizyczne są często nieodwracalne lub nie łatwo lub automatycznie odwrócić sposób działania funkcji „cofnij” w edytorze tekstu. Przykładami akcji odwracalnych są możliwość modyfikacji zaplanowanej ścieżki lub pola ograniczającego dla działania robota oraz funkcja powrotu do domu,

która umożliwi użytkownikowi przywołanie zdalnego robota. Jeśli system nie może cofnąć akcji, opcje zatrzymania akcji lub wyjścia z niej muszą być jasne.

7. Wspieraj wewnętrzne umiejscowienie kontroli. Użytkownicy chcą, aby interfejs działał dla nich, aby ich praca była łatwiejsza, a nie na odwrót. Na przykład słaby interfejs użytkownika wymaga ręcznego wprowadzania punktów GPS, a nie pozwalania użytkownikowi na wybranie ich przez kliknięcie na mapie. Zasada wewnętrznego umiejscowienia kontroli jest często interpretowana jako oznaczająca, że użytkownicy chcą zachować bezpośrednią kontrolę nad robotem, na przykład kierowanie robotem i robienie własnych zdjęć lub filmów. Peschel odkrył jednak, że respondenci, zwłaszcza ci wyżej w hierarchii decyzyjnej, woleli delegować kontrolę, o ile mogli zrozumieć, co robi robot.

8. Zmniejsz obciążenie pamięci krótkotrwałej. Przypomnij sobie na przykład robota z rozdziału 5, który miał długą sekwencję kroków podczas konfigurowania robota do schodzenia po schodach. Interfejs użytkownika nie zawierał żadnych przypomnień o krokach ani nawet żadnych wskazówek, że każdy krok został ukończony przez robota, co oznaczało, że operator musiał zapamiętać sekwencję i stan robota. Nie było niespodzianką, gdy robot się rozbił, mimo że miał doświadczonego operatora. Ponadto interfejsy użytkownika mogą zwiększać lub zmniejszać obciążenie pamięci krótkotrwałej w przypadku wielu ekranów lub okien, ponieważ za każdym razem, gdy użytkownicy muszą patrzeć na różne ekrany lub monitory, muszą pamiętać informacje, co zwiększa ryzyko wystąpienia błędów.

Interfejsy użytkownika to tylko jeden aspekt OCU i ważne jest również, aby wziąć pod uwagę ergonomię i zrównoważyć informacje zwrotne ze zrozumieniem użytkownika. Na przykład informacje zwrotne od żołnierzy używających małych taktycznych robotów mobilnych do obsługi improwizowanych urządzeń wybuchowych w Afganistanie i Iraku wskazywały, że wszystkie roboty miały denerwujące interfejsy. Każdy robot miał inny interfejs z joystickami, oknami i przyciskami. Żołnierze często mówili, że chcą kontrolera PlayStation2. Wykonawcy obrony natychmiast zabrali się do pracy nad dostosowaniem swojego oprogramowania do pracy z kontrolerem. Żołnierze byli generalnie zadowoleni, tyle że zaczęli narzekać, że klaksony kontrolera zaczepiły się o kieszenie, przyciski trudno było wcisnąć w rękawiczkach, a mapowanie funkcji na przyciski nie zawsze miało sens. Z perspektywy czasu wykonawcy przeoczyli, że użytkownicy próbowali powiedzieć: „Chcemy, aby wszystkie roboty korzystały z tego samego interfejsu joysticka, a interfejsy joysticka powinny być projektowane z taką samą dbałością o szczegóły, jaką producenci gier wideo wkładają w kontroler PS2, aby kontroler robota jest tak samo łatwy i wygodny w użyciu do zadań robota, jak PS2 do zadań z grami wideo”. Wykonawcom przeoczyły ergonomiczne rozgałęzienia kontrolera PS2. Przeoczyli także przejściowy efekt użytkownika, w którym kontroler PS2 był początkowo łatwy w użyciu przez początkującego żołnierza, ale stał się trudniejszy w użyciu w przypadku bardziej wyrafinowanych funkcji, gdy żołnierz z nowicjusza stał się ekspertem.

### **Świadomość sytuacji**

To, w jaki sposób osoba nadąża za tym, co robi robot, jest przykładem zjawiska świadomości sytuacyjnej, a dobry interfejs użytkownika idealnie pomaga osobie w budowaniu i utrzymywaniu świadomości sytuacyjnej. Świadomość sytuacyjna, w skrócie SA, została zdefiniowana przez Mikę Endsley jako „...postrzeganie elementów w środowisku w przestrzeni czasu i przestrzeni, zrozumienie ich znaczenia i projekcję ich statusu w najbliższej przyszłości.” Dobry interfejs użytkownika obsługuje wszystkie trzy poziomy SA. Idąc za Endsleyem, świadomość sytuacyjną można podzielić na trzy poziomy zwiększenia świadomości:

Poziom 1 SA sortuje dane sensoryczne, aby dostrzec odpowiednie informacje sensoryczne.



Poziom 2 SA to interpretacja i zrozumienie informacji sensorycznych oraz ich znaczenia dla bieżących lub krótkoterminowych celów misji.

Poziom 3 SA syntetyzuje i projektuje znaczenie informacji sensorycznych dla przyszłych wydarzeń.

Najlepiej byłoby, gdyby użytkownik miał świadomość sytuacyjną na poziomie 3A. Oznacza to, że użytkownik jest w stanie dostrzec, co jest istotne i może budować i utrzymywać dokładne zrozumienie aktualnego stanu świata i misji, aby móc wykonać misję. A kiedy wykonują misję, myślą również o kolejnym kroku i są wyczuleni na wszelkie oznaki problemów. Jednak użytkownik ma tylko skończoną ilość wysiłku poznawczego, który może wydać, a wysiłek ten zmniejsza się z czasem, gdy użytkownik staje się zmęczony i doświadcza zwiększonego stresu. Jeśli użytkownik poświęci większość wysiłku na SA poziomu 1, wówczas będzie niewiele wysiłku dostępnego dla poziomu 2 i poziomu 3. Interfejsy użytkownika są najbardziej oczywistymi mechanizmami pomagania użytkownikowi w postrzeganiu istotnych informacji sensorycznych i powiązaniu ich z bieżącymi celów. Zaśmiecony interfejs użytkownika, który próbuje wyświetlić wszystko, często zakłóca zdolność danej osoby do tworzenia i utrzymywania SA poziomu 1, ponieważ użytkownik musi włożyć znaczny wysiłek poznawczy, co oznacza, że zadanie zwiększyło obciążenie poznawcze, wymagając więcej wysiłku, aby uporządkować i znaleźć odpowiednie informacje. Jednak interfejs użytkownika może się mylić i dostarczać zbyt mało informacji, zwłaszcza jeśli robot nie dostarcza odpowiednich informacji sensorycznych. Rozważmy przykładowy interfejs użytkownika na rysunku dla Inuktun Mine Crawler, używanego do próby zlokalizowania uwięzionych górników w kanionie Crandall w stanie Utah, podczas katastrofy kopalnianej.



a.



Robot był polimorficzny: leżał płasko, aby przejść przez odwiert, po czym maszt kamery obrócił się w górę. Przypomnijmy, że użytkownicy często muszą znać stan eksproprioceptywny robota, w tym przypadku, czy robot miał się przewrócić, gdy czołgał się po skale lub gruzie. Wiele interfejsów użytkownika udostępnia ikonę stanu proprioceptywnego robota, w tym przypadku pozycję masztu. Następnie użytkownik łączy w myślach wszelkie dane sensoryczne dotyczące terenu, takie jak mapa zasięgu lub obraz wizualny, z informacjami proprioceptywnymi w celu oszacowania stanu eksproprioceptywnego. Jednak wiele robotów, takich jak Inuktun, nie dostarcza żadnych proprioceptywnych informacji o pozycji robota. W tym przypadku robot nie posiadał enkoderów wskazujących kąt nachylenia masztu kamery - oczekiwano od operatora zapamiętania przybliżonego kąta ustawienia masztu i nie do końca wysunięcia masztu lub zaklinowałby się w pełnej pozycji pionowej i robot nie był w stanie ułożyć się płasko i ponownie wejść do odwiertu, aby powrócić na powierzchnię. Ten zubożały interfejs użytkownika z czasem wpłynął na operatorów. Przez wiele godzin, gdy robot przeszukiwał kopalnię, operatorzy, którzy mieli mało snu i pracowali w stresujących warunkach, nie byli w stanie utrzymać oszacowania pozycji kamery i musieli stale wycofywać kamerę, aby rozpocząć z bezpiecznego stanu. W efekcie operatorzy pracowali najprawdopodobniej tylko na poziomie 1 SA. Operatorzy musieli co jakiś czas zatrzymać robota, aby móc skoncentrować się na dostrzeżeniu oznak uwięzionego górnika lub wskazówki co do przyczyny zawalenia. Operatorzy rzadko, jeśli w ogóle, osiągnęli poziom 3 SA, gdzie mieli czas i zasoby mentalne, aby pomyśleć o kolejnym kroku lub przewidzieć i przygotować się na nadchodzące problemy.

## **TWORZENIE SENSÓW**

Świadomość sytuacyjna i świadomość sytuacyjna są używane zamiennie, co jest niefortunne, ponieważ świadomość sytuacyjna odnosi się do oddzielnego tematu, w jaki sposób uwaga osoby na dany aspekt świata jest zależna od sytuacji. Z drugiej strony świadomość sytuacyjna to stan rozumienia świata przez człowieka. Terminu sensu można używać zamiast świadomości sytuacyjnej, aby uniknąć pomylenia z potocznym użyciem tego terminu i podkreślić funkcje percepcyjne osoby jako całości. Klein definiuje tworzenie sensu jako „zmotywowany, ciągły wysiłek w celu zrozumienia powiązań (które mogą występować między ludźmi, miejscami i wydarzeniami) w celu przewidywania ich trajektorii i skutecznego działania”, co jest szersze niż stan wiedzy leżący u podstaw świadomości sytuacyjnej.

## **Wielu użytkowników**

Często jest więcej niż jeden użytkownik robota, a zatem może być potrzebnych wiele wyświetlaczy, a nawet wiele interfejsów, aby zaspokoić różne potrzeby w zakresie świadomości sytuacji dla każdego użytkownika. Na przykład w przypadku bezzałogowego statku powietrznego wykonującego rozpoznanie dla policji podczas imprezy, byłby operator. Jednak najprawdopodobniej byłoby inni funkcjonariusze, którzy nic nie wiedzą o robocie, ale musieliby zobaczyć obraz z kamery, a nawet zmienić zadanie robota, aby uzyskać inny widok. Jednym z rozwiązań jest zapewnienie wyświetlacza, który odzwierciedla wyświetlacz operatora, co jest opcją w przypadku DJI Inspire UAV, lub przesyłanie strumieniowe wyświetlacza operatora do użytkowników przez Internet, co jest opcją w przypadku DJI Phantom. Jednak inni użytkownicy są ekspertami w swojej konkretnej pracy. Oznacza to, że są zainteresowani informacjami istotnymi dla ich obowiązków, a nie informacje o działaniu UAV. Dlatego operator i ekspert mogą mieć różne cele, co oznacza, że każdy z nich ma inną „sytuację”, której muszą być świadomi. Dlatego potrzebują nieco innych interfejsów użytkownika. Ikony lub etykiety dotyczące poziomu naładowania baterii UAV, siły sygnału GPS i połączeń bezprzewodowych itp. mogą rozpraszać i zwykle nie interesują nikogo poza operatorem. Ponadto informacje zorientowane na operatora mogą zostać nadpisane na obrazie, blokując w ten sposób widok obiektu zainteresowania. W rezultacie korzystne może być opracowanie innej wersji interfejsu dla użytkowników „konsumentów informacji”. Taki interfejs może wzmocnić tych użytkowników i zwiększyć ich akceptację robota. Wiele kategorii

użytkowników prowadzi do wielu prezentacji związanych z rolą, ale także powoduje problemy z brakiem współpracy i sporami. W przypadku grupy użytkowników i tylko jednego robota, jak użytkownicy komunikują się z operatorem lub robotem? Jeśli użytkownicy mają kontrolę, w jaki sposób system zapewnia, że użytkownicy nie wydają sprzecznych dyrektyw? Zapobieganie tym konfliktom obejmuje modelowanie domeny, użytkowników i ich interakcji, a także sposobu, w jaki operator, robot i inni użytkownicy utrzymują wspólną płaszczyznę; koncepcje te omówiono w dalszej części tej części.

### **Modelowanie domen, użytkowników i interakcji**

Możliwość wielu użytkowników robota lub zestawu robotów o różnych celach uwydatnia bardziej subtelne wyzwania w określaniu odpowiedniej interakcji człowiek-robot: w jaki sposób projektanci określają lub modelują, jakie są cele użytkowników, czego użytkownicy muszą być świadomi Aby pracować z robotem i realizować misję, kiedy użytkownicy muszą być świadomi, jakie aspekty, jakie informacje dostarcza środowisko lub robot i jak użytkownicy i roboty wchodzą ze sobą w interakcje? Odpowiedzi na tego typu pytania znajdują się w modelu domeny. W sztucznej inteligencji do modelowania domen zwykle podchodzi się albo przez a) tworzenie ontologii, które wychwytyują podstawowe atrybuty domeny i relacje między atrybutami, albo b) jawnie reprezentując wiedzę ekspercką. Reprezentacja wiedzy eksperckiej może wykorzystywać ontologię. W ramach sztucznej inteligencji istnieje cała dziedzina zwana inżynierią wiedzy, która jest poświęcona metodom wydobywania, przedstawiania i wnioskowania na temat wiedzy eksperckiej i specjalistycznej. Podejścia inżynierii wiedzy doskonale nadają się do określania źródeł informacji i przedstawiania, w jaki sposób są one przekształcane przez eksperta w decyzję, ale często podejścia te są wąsko skoncentrowane na wiedzy, która ma być enkapsulowana, a nie na tym, jak ludzie wchodzą w interakcję z taką wiedzą lub agentami, które gospodarzem takiej wiedzy. Istnieją dwie techniki przewidywania interakcji ludzi i robotów w określonej dziedzinie aplikacji: kognitywna analiza zadań i kognitywna analiza pracy.

### **Motywujący przykład użytkowników i interakcji**

W 2013 r. Teksas był jednym z kilku stanów, które rozpoczęły wprowadzanie zdalnie sterowanych robotów, aby umożliwić studentom powracającym do domu lub studentom z przedłużonym pobytem w szpitalu nadążanie za zajęciami. Texas używa robota VGo (VGo Communications), tabletu na słupie o wysokości oczu, zamontowanym na mobilnej platformie na kółkach. System zapewnia teleoperatorowi dwukierunkowe audio i dwukierunkowe wideo. Podstawa robota ma dwa stopnie swobody, translację i obrót. Jest zdalnie sterowany przez łącze internetowe. Takie wykorzystanie robotów ilustruje, dlaczego dobra interakcja człowiek-robot jest czymś więcej niż tylko interfejsem użytkownika i dlatego korzystne jest zrozumienie dziedziny pracy, identyfikacja pełnego zestawu użytkowników i interesariuszy oraz sformalizowanie sposobu, w jaki wszyscy użytkownicy i interesariusze oczekują interakcji z robot. W projektowaniu HRI istotne jest zidentyfikowanie wszystkich interesariuszy, na których projekt ma wpływ. Wśród interesariuszy, którzy musieli być usatysfakcjonowani z projektu systemu, znaleźli się nie tylko uczniowie i nauczyciele przychodzący do domu. Rodzice lub opiekunowie ucznia powracającego do domu musieli wspierać i angażować się, aby zachęcić do korzystania z robota. Inni uczniowie i ich rodziny byli interesariuszami, ponieważ robot nie mógł rozpraszać ani przeszkadzać w klasie, a tym samym przeszkadzać w ich edukacji. Menedżerowie programu centrum usług edukacyjnych byli interesariuszami, ponieważ byli odpowiedzialni za zakup i konserwację robotów, szkolenie uczniów, rodziców i nauczycieli oraz upewnienie się, że roboty są używane. Stan Teksas jako całość był interesariuszem, ponieważ robot musiał być w stanie wyraźnie pomóc uczniowi powracającemu do domu bez obciążania nauczyciela i rozpraszania innych uczniów, a robot musiał być rozwiązaniem opłacalnym i skalowalnym. W projektowaniu HRI należy określić rolę każdego interesariusza, a zwłaszcza sposób, w jaki jego interesy i oczekiwania kształtują interakcję. Pomocne jest rozważenie, kto jest „za”, „z przodu” i „obok” robota. Interesariusze, którzy mieli

bezpośrednią interakcję z robotami lub użytkownikami, obejmowały nie tylko studenta, który wrócił do domu. „Za” robotem znajdował się uczeń powracający do domu, a także ich rodzic lub opiekun, a także menedżerowie programu edukacyjnego obszaru usług. „Obok” robota byli inni uczniowie w klasie, którzy dosłownie znajdowali się obok robota, ponieważ zajmował on fizyczne miejsce ucznia. Uczniowie ci mogliby zostać poinstruowani o robocie i czego się po nim spodziewać. Niektórzy uczniowie mogą być „przed” robotem, aktywnie pracując z uczniem przychodzącym do domu nad ćwiczeniami grupowymi i projektami zespołowymi. Nauczyciel znajdował się „przed” robotem i można go było przeszkolić w poruszaniu nim, ponownym uruchamianiu i ładowaniu. Jednak „obok” robota byli także uczniowie, nauczyciele i pracownicy szkoły, którzy mogli go spotkać na korytarzach i w całej szkole; ta ogólna populacja, która nie byłaby specjalnie przeszkolona w zakresie interakcji z robotem. Ustalenie tożsamości interesariuszy i określenie ich interakcji umożliwia zaprojektowanie odpowiednich interfejsów użytkownika. „Za” robotem uczeń musiał umieć nawigować i sterować kamerą. Rodzice musieli umieć skonfigurować robota, rozwiązywać problemy, których uczeń nie potrafił rozwiązać i obserwować, co robi ich dziecko. Rodzice i uczeń najprawdopodobniej mieli różne umiejętności obsługi komputera i poziom komfortu z komputerami i robotami. Menedżer programu musiał sprawdzić stan wszystkich robotów w obszarze usług edukacyjnych i zalogować się zdalnie, aby pomóc w rozwiązywaniu problemów. Ale „przed” robotem znajdował się użytkownik, nominalnie uczeń znajdujący się w klasie. Nauczyciel musiał mieć możliwość łatwego ładowania robota w piasku, aby ustalić, czy istnieje połączenie bezprzewodowe. Modelowanie potrzeb interesariuszy ostrzega projektantów, że ludzie „z przodu” i „obok” robota zareagują na to społecznie, choć w tym przypadku robot jest tylko umiarkowanie antropomorficzny i nie ma możliwości poruszenia tabletką „głową” robota. W powyższym przypadku inni uczniowie nawiązali kontakt wzrokowy z robotem, gdy poruszał się po korytarzach i pomagali, gdy utknął. Istniały dowody na to, że inni uczniowie, zarówno w klasie, jak i w ogólnej populacji uczniów, aktywnie angażowali się w robota i ucznia przyjeżdżającego do domu. Ta interakcja była sprzeczna z normalnym zachowaniem polegającym na próbie uniknięcia lub zminimalizowania kontaktu z uczniem na wózku inwalidzkim. Podczas ćwiczeń przeciwpożarowych jedna grupa uczniów tak mocno związała swojego kolegę z klasy z robotem, że nie chcieli zostawiać VGo w tyle. Wykorzystanie robotów dla studentów powracających do domu ilustruje również kompromisy między autonomią a teleoperacją. Dzięki teleoperacji system był niedrogi, prosty w utrzymaniu i rozwiązywaniu problemów oraz spójny. Autonomiczna nawigacja teoretycznie uprościłaby ruch robota, zapobiegając kolizjom z biurkami i krzesłami oraz ułatwiając przechodzenie przez drzwi i poruszanie się po korytarzach. Jednak uczniowie spędzają większość czasu w klasie i w bliskim sąsiedztwie innych uczniów, ławek i stołów. Najtrudniejszymi manewrami mogą być ustawienie robota na biurku lub zwrócenie się twarzą do przodu klasy lub odpowiednie poruszanie się w strefie osobistej innego ucznia. Kiedy robot jedzie korytarzem, sala może być wypełniona innymi uczniami. Autonomia nawigacyjna musi być w stanie poradzić sobie z bardzo bliskimi i społecznie wrażliwymi odległościami w przestrzeniach wewnętrznych, które zmieniają się dynamicznie pod wpływem ruchu ludzi. Nawigacja w pomieszczeniach jest jeszcze trudniejsza, ponieważ biurka i krzesła zazwyczaj mają wąskie profile, które są trudne do wykrycia przez czujniki prądu. Każdy autonomiczny algorytm nawigacji lub makra do automatyzacji przechodzenia przez drzwi lub dopasowywania się do biurka muszą być niezawodne i spójne, aby użytkownicy mogli zgodzić się na przekazanie kontroli robotowi.

### **Analiza zadań poznawczych**

#### **ANALIZA ZADAŃ POZNAWCZYCH (CTA)**

#### **DOMENY NORMATYWNE**

Analiza zadań poznawczych (CTA) jest odpowiednia, gdy robot automatyzuje dobrze ustalone zadanie lub funkcję. Domeny o ugruntowanej pozycji nazywane są domenami normatywnymi, ponieważ znane

są normalne zadania i standardy wykonania. W tych dziedzinach robot wykonuje znane zadania i dopasowuje się do znanych hierarchii dowodzenia i informacji. Na przykład Agencja Obronnych Zaawansowanych Projektów Badawczych (DARPA) Robotics Challenge (2012-2015) zachęcała do opracowywania robotów, które mogłyby wsiąść do samochodu zaprojektowanego dla człowieka, dojechać do obiektu, wysiąść z samochodu, wejść do elektrowni jądrowej zakład lub zakład chemiczny oraz zawory obrotowe, aby zapobiec wybuchowi. Oczekiwano, że robot wykona te zadania tak szybko, jak człowiek. CTA opiera się na zestawie metod, aby dokładnie określić, jakie jest zadanie i jakie są miary wydajności. Najczęściej stosowana metoda bada istniejące praktyki, podręczniki i pisemne procedury. Jednak samo to rzadko wystarcza. Od pracownika oczekuje się pośrednio wykonywania funkcji dodatkowych lub wykraczających poza to, co jest w podręczniku, takich jak zauważanie potencjalnych problemów. Ukryte oczekiwanie jest takie, że ludzie są członkami zespołu i mają motywację do osiągnięcia większego celu, nawet jeśli mechanizmy, dzięki którym pracownicy mogą ułatwić osiągnięcie większych celów, nie są formalnie udokumentowane. W związku z tym CTA często zawiera wywiady i ćwiczenia, aby zachęcić interesariuszy do ujawnienia ich ukrytych oczekiwań. CTA ma poważną wadę dla robotyki. Jak zauważyli Woods i Hollnagel, robot nie zastępuje całkowicie człowieka, ponieważ nie jest tak elastyczny ani przystosowalny jak człowiek i nie komunikuje się i nie pracuje jako członek zespołu w taki sam sposób, jak człowiek. Woods i Hollnagel jako mit substytucji odnoszą się do oczekiwania, że robot zastąpi człowieka w zadaniu bez subtelnych zmian w całym systemie. Wywiady, ankiety i ćwiczenia mogą wprowadzać w błąd, ponieważ ludziom trudno jest wyobrazić sobie, jak nowa technologia wpłynie na ich pracę. Dlatego projektant robota musi zaprojektować, w jaki sposób robot zmieni zadanie i ułatwi, jak ludzie zareagują i przystosują się do robota.

### **Analiza pracy poznawczej**

#### **ANALIZA PRACY POZNAWCZEJ (CWA)**

##### **DOMENY FORMACYJNE**

Analiza pracy poznawczej (CWA) jest odpowiednia, gdy robot jest używany do nowych zadań lub funkcji lub radykalnie zmieni sposób wykonywania pracy. Te nowe zadania lub funkcje są określane jako dziedziny kształtujące, ponieważ wciąż kształtuje się najlepszy sposób wykonywania pracy. Na przykład wykorzystanie robotyki morskiej do tworzenia map terenów podmokłych zapewnia nowe możliwości. Pojazd morski może wjeżdżać w płytkie przestrzenie, nagrywać wideo z widoku nad linią wody, sporządzać mapy dna, dokonywać ciągłych pomiarów jakości wody, obecności życia morskiego, pokrycia trawy morskiej i tak dalej. Ten rodzaj wszechobecnego mapowania jest nowy, podobnie jak wyzwania związane z używaniem UUV. Jako inny przykład rozważ mały UAV zastępujący załogowy helikopter do monitorowania dzikiej przyrody. UAV może nominalnie wykonywać te same zadania, co śmigłowiec, ale sposoby, w jakie wykonuje zadania, mogą być bardzo różne. Zamiast posiadania dedykowanego pilota, można oczekiwać, że funkcjonariusz policji lub inżynier będzie bezpośrednio kontrolował UAV. CWA opiera się na zestawie metod, z których wiele nakłada się na CTA, co prowadzi do nieporozumień co do różnicy między nimi. Celem CTA jest uchwycenie pięciu aspektów domeny:

\* Dziedzina pracy: „duży obraz” lub ekologia aplikacji – środowisko, typy robotów, które są wykonalne oraz ogólne misje i oczekiwania.

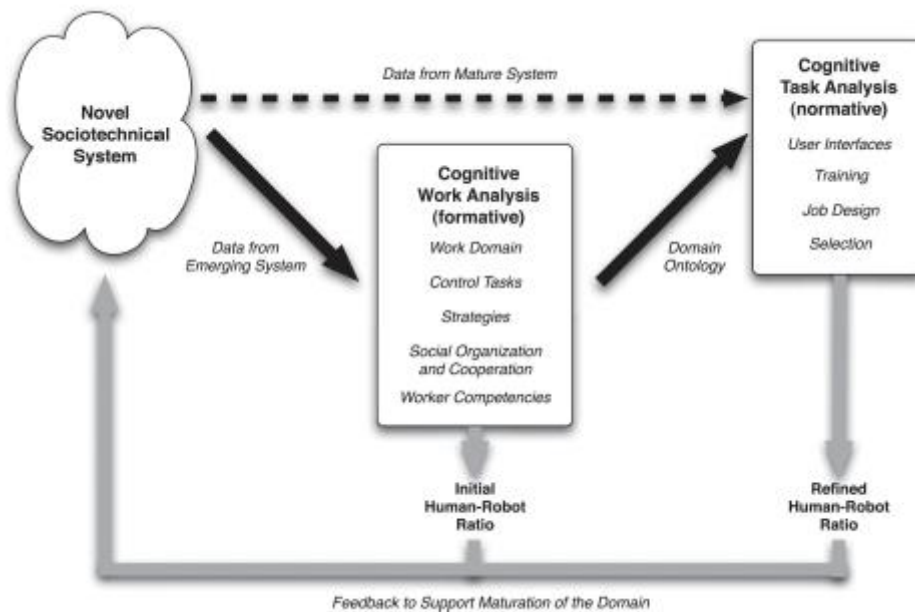
\* Zadania kontrolne: ogólny przebieg sposobów, w jakie decydenci uzyskują informacje i podejmują decyzje za pomocą robotów, co roboty muszą zapewnić oraz wzorce sposobów wykorzystania robotów

\* Strategie: Jak robot może wykonywać określone misje lub zadania

\* Społeczno-organizacyjne: Jak podzielona jest praca? Co powinien zrobić robot, a co powinno być zrobione na pokładzie lub poza nim? Co robi człowiek? A jeśli dochodzi do interakcji z wieloma ludźmi? W jaki sposób decydenci wolą zdobywać informacje?

\* Kompetencje pracowników: Kim są typowi użytkownicy i jakie są ich pochodzenie? Jakiego szkolenia będą potrzebować, aby wykonywać operacje i konserwację robota?)

Rysunek porównuje kognitywną analizę zadań i kognitywną analizę pracy



### Język naturalny i naturalistyczne interfejsy użytkownika

Częstym żądaniem użytkownika jest „po prostu zrób to tam, gdzie będę mógł powiedzieć robotowi, czego chcę!”, czyli zaprojektuj interfejs robota tak, aby używał języka naturalnego. Jak zauważono w Części 1, język naturalny jest głównym obszarem sztucznej inteligencji; jest to trudny i złożony problem, który nie został rozwiązany. Poczyniono ogromne postępy w rozpoznawaniu mowy i kojarzeniu słów z zadaniami, na przykład Siri, jednak rozumienie języka pozostaje otwartą kwestią badawczą. Co więcej, słowo mówione jest tylko jednym z aspektów naturalnych stylów komunikacji; ludzie również gestykują, pozuja, wskazują, zmieniają głośność głosu i tak dalej. Język naturalny jest w rzeczywistości multimodalny.

### Rozumienie języka naturalnego

Zrozumienie werbalnego języka naturalnego ma trzy odrębne fazy obliczeniowe: rozpoznawanie mowy, w którym dźwięki są przekształcane w fonemy, a następnie w słowa, rozumienie języka, w którym słowa i wynikowa struktura słów są analizowane w celu uzyskania najbardziej prawdopodobnego znaczenia oraz generowanie języka i synteza mowy, gdzie zdania są planowane i generowane, aby przekazać znaczenie. Rozumienie języka jest najtrudniejszym problemem i zazwyczaj jest rozwiązywane na jeden z trzech sposobów. Jednym ze sposobów jest skupienie się na samych pojedynczych słowach. Może to wystarczyć do poinformowania smartfona, że chcesz wysłać wiadomość tekstową lub odtworzyć konkretną piosenkę. Jednak system rozumienia języka naturalnego (NLU) może mieć ograniczone słownictwo i może nie być w stanie określić kontekstu.

Interakcja Douga Hofstadtera z Nicolai, czatbotem opracowanym przez armię amerykańską i opisanym przez Raya Kurzweilla, ilustruje, dlaczego kontekst jest równie ważny jak same słowa:

Hofstadter: What are feet?

Nicolai: FEET ARE 12.0 INCHES.

Hofstadter: What are ears?

Nicolai: EARS ARE AUDITORY ORGANS FOUND ON ANIMALS.

Hofstadter: What are arms?

Nicolai: THAT INFORMATION IS CLASSIFIED.

## **CZTERY GRAMATYKI**

Innym podejściem do rozumienia języka naturalnego jest skupienie się na gramatycznej strukturze wyrażeń. Noam Chomsky stworzył hierarchię czterech gramatyk używanych przez językoznawców i informatyków. Hierarchia Chomsky'ego jest luźno opisana poniżej.

- \* Regularne gramatyki. To jest najbardziej podstawowa gramatyka. Przechwytywanie języka naturalnego jest zbyt prymitywne i zwykle nie jest wystarczająco wyraziste dla języków komputerowych. Wystarczy do tworzenia zapytań wyszukiwania.
- \* Gramatyki bezkontekstowe. Stanowią one podstawę języków komputerowych opartych na niedeterministycznych automatach ze zsuwaniem. Jednak te zbyt precyzyjne i ograniczone gramatyki nie oddają ogólnego języka naturalnego.
- \* Gramatyki kontekstowe. Jak widać na przykładzie stóp, uszu, ramion, ważny jest kontekst. Teoretycznie gramatyki kontekstowe wychwytyją większość atrybutów języka naturalnego. Jednak w praktyce trudno jest uchwycić kontekst w regułach, które komputer może zastosować, nawet w przypadku małych, ograniczonych podzbiorów języka naturalnego.
- \* Gramatyki rekurencyjnie przeliczalne. Są to gramatyki teoretyczne, które można wykorzystać do zbudowania uniwersalnej maszyny Turinga. Te gramatyki wykraczają poza normalny język naturalny.

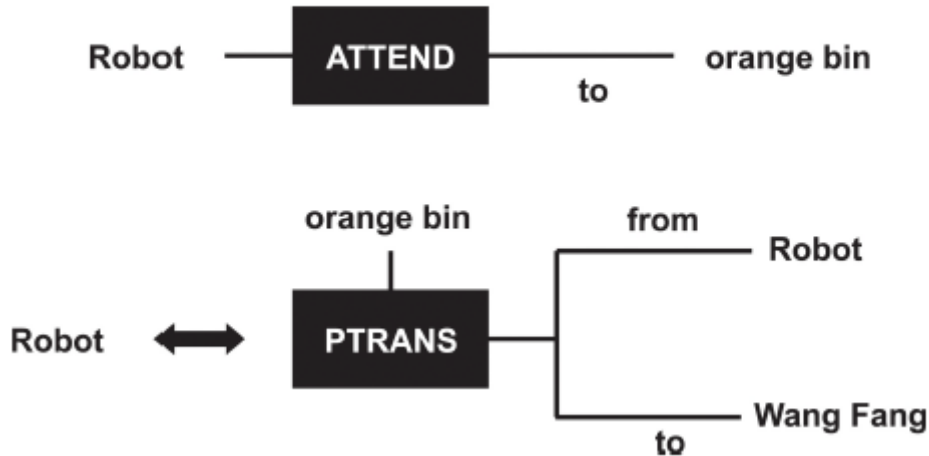
## **KONCEPCYJNA TEORIA ZALEŻNOŚCI**

Semantyka dotyczy głęboko ukrytego znaczenia wyrażeń i dlatego jest prawdziwym celem sztucznej inteligencji. Istnieją trzy szerokie kategorie algorytmów i reprezentacji semantyki w języku naturalnym. Jedna kategoria próbuje stworzyć algorytmy uogólniające, które mają zastosowanie do każdego dialogu w języku naturalnym i nie zależą od doboru słów. Najbardziej znanym algorytmem jest konceptualna teoria zależności Schanka, w której algorytm identyfikuje leżące u podstaw wyrażane akty mowy. Schank wygenerował listę aktów mowy, w tym MTRANS, gdzie jeden agent próbuje przekazać informacje mentalne, takie jak powiedzenie komuś czegoś, PTRANS, gdzie agent mówi o przeniesieniu fizycznej lokalizacji obiektu, ATTEND, gdzie agent się koncentruje na bodziec lub przedmiot oraz MÓW, gdy agent wydaje dźwięk. Rysunek pokazuje, jak teoria zależności pojęciowych może rozkładać dyrektywy na akty mowy. Działania te mogą następnie zostać odwzorowane na funkcje robota. Zauważ, że „Proszę przynieść Wang Fang pomarańczowy pojemnik tam” rozkłada się na tę samą mowę, co „Robot, widzisz ten pomarańczowy pojemnik? Zanieś to do Wang Fang. Wyzwaniem

jest rozwinięcie szerszego kontekstu całego dialogu i nadążanie za tym, do czego odnoszą się niejasne identyfikatory, takie jak „to”, co nazywa się odniesieniem zaimkowym.

---

Robot, see that orange bin? Bring it to Wang Fang.



### Semantyka i komunikacja

Rozumienie semantyczne jest trudne, ponieważ komunikacja jest niejasna i niedookreślona, ale mimo to często wiemy, co druga osoba ma na myśli lub czego chce. Semantyczne podejścia do języka naturalnego próbują uwydatnić ukryty aspekt komunikacji. Dwa najbardziej godne uwagi podejścia, wspólna płaszczyzna i przekonanie, pragnienie pragnienia-intencji (BDI), zakładają, że jeden agent ma model tego, o czym myśli i komunikuje drugi agent. Jednak badania nie są jasne, jak wyrafinowany, a nawet jak poprawny musi być model robota człowieka lub ludzki model robota, aby odnieść sukces. Innym powodem, dla którego komunikacja jest trudna, jest to, że znaczenie nie pochodzi tylko ze słów. Jest ton głosu lub prozodii, sposób, w jaki gestykulujemy, jeśli się uśmiechamy, czy utrzymujemy kontakt wzrokowy i gdzie patrzymy, oraz inne wskazówki, co mamy na myśli. Dlatego roboty będą musiały zrozumieć i wyrazić siebie za pomocą wielu sposobów komunikacji, aby zrozumieć wskazówki wydawane przez człowieka i wykazać zaangażowanie lub zamieszanie.

### Modele Stanu Wewnętrznego Agent

#### WSPÓLNA PŁASZCZYZNA

Wspólne podejście do semantyki koncentruje się na określeniu, w jaki sposób grupa ludzi wie, że mówi o tym samym. Jednym z aspektów wspólnej płaszczyzny jest symboliczne uziemienie percepcji. Na przykład, jeśli osoba mówi do robota „Proszę przynieś mi kawę”, a oboje są w kuchni przy dzbanku do kawy, zdanie może oznaczać, że człowiek kieruje robota, aby wziął filiżankę kawy, nalał kawę do tego dzbanka i przynieś ją człowiekowi. Innym aspektem wspólnej płaszczyzny jest kontekst. Jeśli osoba mówi: „Proszę przynieś mi kawę”, w odpowiedzi na robota, który ogłosił, że idzie do sklepu spożywczego, zdanie to może oznaczać, że człowiek kieruje robota, aby kupić paczkę kawy.

#### PRZEKONANIA-PRAGNIENIA-INTENCJE (BDI)

Podejście przekonanie-pragnienia-intencje (BDI) idzie znacznie dalej niż wspólna płaszczyzna, oczekując od robota modelu tego, co człowiek robi i co chce osiągnąć. Jak sama nazwa wskazuje, oczekuje się, że robot zrozumie, że ludzie mają przekonania, pragnienia i intencje, które wpływają na komunikację. Kiedy osoba mówi do robota „Proszę przynieś mi kawę” w kontekście zakupów



spożywczych, robot ma model osoby. W tym kontekście robot wnioskuje, że osoba uważa, że jest uprawniona do wydawania robotowi poleceń. Ale przekonania osoby nie zobowiązują robota. Jeśli osoba nie może kierować robotem, robot wykorzysta swoje zrozumienie przekonań osoby, aby odpowiedzieć, że nie może spełnić tej prośby. Kontekst wpływa również na pragnienia i intencje. Jeśli normalny zapas kawy jest na wyczerpaniu, osoba zamierza, aby robot uzupełnił spiżarnię. Osoba może chcieć określonego rodzaju kawy, powiedzmy, mieszanki śniadaniowej z pełnymi ziarnami, którą robot może wywnioskować z wcześniejszych doświadczeń z człowiekiem. Robot może również wywnioskować, że dana osoba chce wypić kawę w najlepszej cenie. Jeśli jednak zbliża się uroczysta kolacja, pragnieniem może być, aby kawa Kona lub aromatyzowana lub palona espresso, niezależnie od ceny, spełniała intencje imprezy towarzyskiej. Zarówno wspólny grunt, jak i podejście BDI zakładają, że człowiek również posiada lub buduje model tego, co robi robot i jego celów. Człowiek buduje wspólną płaszczyznę i formułuje oczekiwania wobec robota w oparciu o wiele czynników, z których jednym jest wygląd robota. Jak zauważono wcześniej w Dolinie Niesamowitości, im bardziej robot przypomina życie, tym silniejsze jest oczekiwanie, że będzie się zachowywał i rozmyślał jak ta forma życia. Jednak forma robota daje również wskazówki co do jego przeznaczenia i oczekiwanej inteligencji. Na przykład iRobot Roomba nie wygląda jak standardowy odkurzacz, co subtelnie przygotowuje użytkownika, że nie użyje kosiarki skanującej pomieszczenie. Nie wygląda też na inne możliwości, bo nie ma ramion, oczywistych czujników, interfejsu poza przyciskami. Kolor może być afordancją, przy czym czarny sugeruje użycie przez wojsko lub policję, w przeciwieństwie do miękkiego niebieskiego, który jest kojarzony z pracownikami medycznymi lub żółtym lub pomarańczowym pracowników służb ratunkowych. Inne czynniki obejmują treść komunikacji robota. Dobieranie prostych słów i formalnych zdań pomaga pokazać, że robot nie radzi sobie z wyrażeniami w języku narodowym. Manieryzmy, takie jak działanie powolne i celowe, sugerują, że umiejętności i inteligencja robota są ograniczone. Innym czynnikiem określającym wspólną płaszczyznę i formułując oczekiwania są wcześniejsze doświadczenia człowieka z innymi robotami i systemami sztucznej inteligencji.

### **Komunikacja multimodalna**

Komunikacja nie ogranicza się do treści komunikacji werbalnej; jest multimodalny. Komunikacja werbalna może być wzmocniona przez komunikację niewerbalną, a komunikacja werbalna może wcale nie być konieczna, aby agent mógł komunikować swoje intencje. Główne niewerbalne sposoby komunikacji obejmują między innymi wyrażenia i gesty. Wyrażenia to jeden z mechanizmów, za pomocą którego agent komunikuje swój stan wewnętrzny. Głównymi formami ekspresji są proksemika, czyli względna pozycja agenta w stosunku do innego agenta, jego poza, afektywna mimika oraz ton głosu lub prozodia.

Każdy robot, bez względu na to, czy jest antropomorficzny, czy nie, wysyła multimodalne wskazówki komunikacyjne za pośrednictwem proksemiki; jest to najważniejsza wskazówka komunikacji niewerbalnej, którą należy poprawnie zaimplementować. Sformułowanie „naruszenie przestrzeni osobistej” pochodzi z proksemiki. Klasyczne prace Argyle<sup>10</sup> i Hall<sup>86</sup> pokazują, że bliskość jednego agenta do drugiego umożliwia różne sposoby interakcji i implikuje intencję. Bliskość podzielona jest na cztery regiony wokół osoby zwanej strefami, przy czym odległości stref różnią się w zależności od kultury (w niektórych kulturach dopuszczalne jest zbliżenie się do siebie), płci (kobiety wolą, aby mężczyźni stali dalej) i sytuacji (w zatłoczonym metro a w parku). Strefy wraz z zalecanymi wskazówkami to:

\* strefa publiczna, 3,66 - 7,62 metra, a nawet dalej. W tej strefie robot znajduje się poza obszarem interakcji z człowiekiem. Osoba może być świadoma robota, ale niekoniecznie zwracać na niego uwagę lub być w stanie odróżnić od robota jakiejkolwiek wskazówki dotyczące jego intencji. Robot jest na tyle daleko, że człowiek nie słyszy go ponad hałasem tłumy ani zauważa szczegółów, ale człowiek widzi duży

wyświetlacz koloru (migające światło, które wskazuje, że robot jest włączony) i kierunek, w którym jest on jest w ruchu.

\* strefa socjalna 1,22 - 3,66 metra. W strefie społecznej osoba zbliżyła się do innej osoby na tyle blisko, że normalnie każda z nich by to rozpoznała i była świadoma drugiej osoby, na przykład dwie osoby kiwają głową, aby być towarzyskie, gdy mijają się w przedpokoju w kolejności. Człowiek zwraca się do wszystkich agentów znajdujących się w strefie społecznej, aby ustalić, czy ich obecność oznacza zamiar interakcji. Dlatego, gdy robot wchodzi do strefy społecznej, osoba zwracałaby większą uwagę na robota. Człowiek byłby w stanie zobaczyć orientację robota (czy jest skierowany do mnie?) i ogólną postawę (czy wydaje się uległy lub zagrażający?), ale może nie być w stanie wykryć żadnych subtelnych sygnałów twarzy. Człowiek widzi zmiany koloru, a także słyszy robota, jeśli jest wystarczająco głośny.

\* strefa osobista 0,46 - 1,22 metra. Zakłada się, że każdy agent, który wejdzie w strefę osobistą człowieka, ma konkretny zamiar zaangażowania tej osoby. Osoba podświadomie zaczyna reagować na sygnały, aby określić, czy ta interakcja jest groźna, ponieważ robot znajduje się teraz w zasięgu uderzenia. Człowiek może zobaczyć, w którą stronę stoi robot, jaką ma postawę i jakąkolwiek mimikę twarzy, dlatego ważne jest, aby te wskazówki wyrażały zamiary. Robot, który porusza się szybko lub chaotycznie, zostałby uznany za zagrożenie, ponieważ mógłby zranić człowieka. W ten sposób płynniejsze i wolniejsze ruchy stają się coraz ważniejsze w budowaniu zaufania do robota. Podobnie bardziej uległe postawy, takie jak spuszczone głowa lub konfiguracja i spuszczone spojrzenie, pomagają przekazać uległość i że robot jest świadomy osoby i będzie się zachowywał bezpiecznie. Człowiek powinien słyszeć robota lepiej niż jakikolwiek hałas otoczenia. W związku z tym ilość zużywana w strefach publicznych i socjalnych zostałaby zmniejszona.

\* strefa intymna 0,15 - 0,46 metra. Strefa intymna jest bardzo blisko osoby, a ludzie instynktownie czują się niekomfortowo, gdy ktoś wchodzi. Osoby przebywające w strefie intymnej są niezwykle wrażliwe, ponieważ nie mogą wystarczająco szybko oddalić się, aby się chronić. Ogólnie rzecz biorąc, robot powinien pozostawać poza strefą intymną, chyba że jest w trakcie nawiązywania kontaktu z człowiekiem lub przeprowadzania niezbędnych badań. Następnie musi emanować uspokajającymi werbalnymi i niewerbalnymi wskazówkami. W strefie intymnej robot znajduje się tak blisko człowieka, że człowiek jest w stanie zobaczyć orientację robota, ale jest mało prawdopodobne, aby był w stanie dostrzec ruchy i postawę robota. Człowiek może nie widzieć żadnych zmian koloru. Ponieważ robot jest tak blisko, człowiek może go łatwo usłyszeć, więc może być konieczne zmniejszenie głośności robota. Dlatego robot musi poruszać się powoli, posłusznie i z wyraźnym zamiarem, aby zmniejszyć niepokój u człowieka.

Ważne jest, aby robot naziemny odpowiadał proksemicznym oczekiwaniom człowieka, w przeciwnym razie robot wprowadzi niepokój lub będzie postrzegany jako przerażający. Teleoperatorzy kierujący robotami muszą mieć świadomość, że sposób poruszania się robota i to, jak blisko umieszczają swojego robota zastępczego w pobliżu ludzi, będzie mieć subtelny wpływ na jakość ich interakcji z tymi ludźmi. Bethel pokazała, że proste przystosowanie do proksemiki, na przykład spowolnienie prędkości robota oraz obniżenie jego wysokości i objętości, może znacznie poprawić poziom komfortu ludzi, gdy robot wchodzi w ich strefę osobistą. Wydaje się, że zasady proksemiczne nie mają zastosowania do bezzałogowych systemów latających w pobliżu ludzi, co oznacza, że ludzie mogą pozwolić UAV zbliżyć się zbyt blisko lub mogą nie reagować defensywnie i w ten sposób narażać się na obrażenia. Nie wiadomo, czy zasady proksemiczne mają zastosowanie do bezzałogowych pojazdów morskich, takich jak roboty dywersyfikacyjne.

## **GESTY**

### **DEIKTYCZNE GESTY**

## GESTY SYGNALIZACJI

Gesty odgrywają szczególnie ważną rolę w udzielaniu wskazówek robotowi i ustalaniu priorytetów informacji. Ludzie zazwyczaj oczekują kierowania robotem lub wyjaśniania dyrektyw za pomocą gestów. Gesty deiktyczne to gesty wskazujące, w których głowa, oczy, ręce lub ramiona agenta wskazują odniesienie w otoczeniu. Od lat 90. głównym wyzwaniem w gestach deiktycznych było wykorzystanie wizji komputerowej do wyodrębnienia kierunku, w którym patrzył lub wskazywał człowiek. Gesty sygnalizacyjne przekazują polecenia, takie jak „stop” i „chodź tutaj”. Badacze zajmujący się robotyką zazwyczaj domyślnie stosują standardowe gesty sygnalizacyjne używane przez operatorów dźwigów lub w operacjach wojskowych. Gesty mogą pomóc w ustaleniu priorytetów treści informacyjnych. Zastanów się, jak machanie rękami, zwłaszcza tworzenie rytmu, akcentuje kluczowe elementy w słownej dyrektywie.

## Stosunek człowiek-robot

Dyskusja na temat interfejsów użytkownika prowadzi do pytań o to, ile osób potrzeba do obsługi robota, co określa się jako stosunek człowieka do robota. W wymagających zastosowaniach zdalnej obecności, takich jak poszukiwania i ratownictwo miejskie oraz likwidacja elektrowni jądrowych, stan praktyki to stosunek dwóch ludzi do jednego. Badanie przeprowadzone przez Burke'a wykazało, że dwie osoby współpracujące ze wspólnymi wyświetlaczami są dziewięć razy lepsze niż jeden człowiek w osiąganiu i utrzymywaniu wysokiego poziomu świadomości sytuacyjnej w wąskich lub percepcyjnie trudnych środowiskach. Zjawisko to jest analogiczne do dojazdu do nowego miejsca, gdzie dobrze jest, gdy jedna osoba prowadzi samochód, a jedna osoba szuka adresu i miejsca parkingowego. Standardowa praktyka wymaga, aby dwa zespoły robotów wykonywały zadania manipulacyjne lub nawigowały w wąskich obszarach, które ograniczają ruch, przy czym jeden robot zapewnia „nadzór” drugiemu.

## BEZPIECZNY STOSUNEK CZŁOWIEKA DO ROBOTA

Najgorszy możliwy stosunek człowieka do robota dla bezpiecznej pracy to:

$$N_{humans} = N_{vehicles} + N_{payloads} + 1$$

Stosując ten wzór, HRI dla małego bezzałogowego systemu latającego z jedną kamerą zaczęłby od rozważenia trzyosobowego zespołu. Formuła sugeruje, że dla pojazdu będzie pilot ( $N_{vehicles} = 1$ ), który koncentruje się na obsłudze platformy, specjalista misji, który kieruje misją i decyduje, jakie zdjęcia zrobić ( $N_{payloads} = 1$ ), oraz zewnętrzny oficer ds. bezpieczeństwa zapewniający bezpieczeństwo zespołu i platformy (+1). To, czy zespół można bezpiecznie zredukować do dwóch czy jednej osoby, jest kwestią zastosowania analizy HRI i ograniczeń regulacyjnych. Jeśli misja leci w bliskim sąsiedztwie budynków na małych wysokościach, pilot prawdopodobnie będzie musiał w pełni zaangażować się w nadzór nawet nad autonomicznym robotem, aby w razie potrzeby przejąć kontrolę. W niektórych przypadkach role pilota i specjalisty misji mogą być łączone. Na przykład w rolnictwie precyzyjnym mały bezzałogowy statek powietrzny jest zwykle używany do lotu po ustalonej ścieżce, a następnie analiza jest wykonywana przez kogoś innego. Pilot pełni funkcję specjalisty misji w sensie odpowiedzialności za dane. Jednak role nie zawsze mogą być łączone, ponieważ pilot nie może być przeszkolony jako ekspert misji. Na przykład pilot może nie mieć wystarczających umiejętności w zakresie inżynierii lądowej, aby zauważyć ważny szczegół na budynku uszkodzonym przez huragan, który wymagał dalszych badań, takich jak huragan Katrina. W obu sytuacjach przepisy lotnicze mogą wymagać zewnętrznego oficera bezpieczeństwa lub obserwatora wzrokowego. Innym przykładem jest bezzałogowy morski pojazd nawodny używany do inspekcji mostu za pomocą kamery nad linią wody i

sonaru poniżej linii wody. Formuła sugeruje czteroosobowy zespół jako punkt wyjścia dla bezpieczeństwa. Jednak trzyosobowy zespół składający się z pilota, specjalisty od kamer i specjalisty od sonaru może nadal być bezpieczny. Zespół może zostać dodatkowo zredukowany do dwóch osób, jeśli kamera nie jest używana do inspekcji, ale tylko do pomocy w nawigacji. W takim przypadku pilot może kierować nawigacją, przełączając widok z kamery na widok linii widzenia, podczas gdy ekspert zapewnia zebranie przydatnych danych z sonaru. Bezpieczeństwo pojazdu i przestrzeganie przepisów dotyczących kolizji morskich może być obsługiwane przez pilota, ponieważ przepisy nie wymagają niezależnego obserwatora wizualnego. Jest mało prawdopodobne, aby role pilota i eksperta misji mogły zostać połączone bez ryzyka, że pojedynczy człowiek będzie tak skoncentrowany na widoku „pod wodą”, że człowiek straci świadomość pojazdu w odniesieniu do konstrukcji, innych łodzi i tak dalej. Możliwość kolizji może być niewielka, ale konsekwencje są tak duże - od utraty drogiej platformy po utonięcie wodniaka – że warto mieć dwuosobową ekipę. Chociaż obecny stan praktyki jest wysoki w stosunku do człowieka do robota, istnieje nadzieja, że zwiększona inteligencja robota może zmniejszyć stosunek człowieka do robota i ostatecznie umożliwić jednemu operatorowi sterowanie wieloma robotami. Wielu badaczy szukało sposobów na zmniejszenie obciążenia poznawczego poprzez delegowanie zadań lub części zadań do robota lub próbując oszacować, jak długo operator może pracować nad czymś innym przed zameldowaniem się za pomocą robota, w szczególności zaniebując tolerancją. Było wiele barier. Jedną z barier jest to, że zmniejszenie obciążenia poznawczego nie oznacza, że ludzie mogą koniecznie wykorzystać swoją „uwolnioną” zdolność do robienia czegokolwiek, co jest szczególnie przydatne. Drugą barierą jest to, że ludzie, którzy całkowicie delegowali zadanie robotowi i pracują nad innym zadaniem, a nawet wykonują wiele zadań jednocześnie, wykonując drobne czynności, takie jak sprawdzanie poczty e-mail, często nie są w stanie szybko ponownie przejąć kontroli w sytuacji awaryjnej. Jak widać w literaturze dotyczącej kontroli człowieka poza pętlą, omówionej wcześniej w Części 5, jeśli oczekuje się, że człowiek zareaguje na nieoczekiwane zdarzenia, osoba ta może być zmuszona do pozostania w pętli, aby przygotować się na wystarczająco szybką reakcję na odzyskanie kontroli, zanim pojawią się negatywne konsekwencje, powiedzmy produkcja wadliwych części. Trzecią barierą jest to, że ludzie nie są podzielni. Jeśli potrzebujesz osoby do misji, ta osoba musi pozostać dostępna dla tej misji. Na przykład, jeśli robot jest autonomiczny, z wyjątkiem określonej fazy, powiedzmy dokowania, która wymaga ludzkiego pilota, stosunek człowieka do robota dla misji wynosi 1:1. Jeśli do transportu i ustawienia robota potrzebne są dwie osoby, stosunek człowiek-robot wynosi 2:1, niezależnie od tego, czy jedna osoba może być pilotem i specjalistą od misji. Częstym pytaniem, na górze „Dlaczego nie mogę po prostu powiedzieć robotowi, co ma zrobić?”, jest „Dlaczego robot nie może mnie ostrzec, gdy napotka problemy i powiedzieć, co mam z tym zrobić?” Część tej prośby „robot ostrzegaj mnie” z pewnością mieści się w ramach obecnych możliwości sztucznej inteligencji i rzeczywiście jest standardową praktyką w HCI i autopilotach – i powinna być standardową praktyką w robotyce. Druga część jest oszukańcza, ponieważ istnieje różnica między monitorowaniem odchyleń w wykonaniu a wnioskowaniem o przyczynowości tych odchyleń. Gdyby robot mógł wytłumaczyć, dlaczego miał problemy, mógłby po prostu je naprawić samodzielnie. W tej chwili najlepsze, co systemy mogą zrobić, to wyświetlić informacje, które mogą być istotne, aby pomóc ludzkiemu rozumowi. Podczas gdy stosunek człowieka do robota oznacza liczbę osób do wykonania misji, gdy misja była głównie nawigacją, łączność sieciowa rozszerzyła dostęp do ładunków robota w czasie rzeczywistym. Niezależnie od tego, kto jest odpowiedzialny za operacje (konfigurację, prowadzenie i utrzymanie bezpieczeństwa), mogą być dziesiątki osób, które chcą zobaczyć dane i pokierować robotem, aby uzyskać więcej. Użytkownicy mogą tworzyć spory dla robota, dając robotowi (lub operatorowi) sprzeczne wskazówki, które musi rozwiązać. Porządkowanie priorytetów jest dla operatora męczące i rozprasające. Robot mógłby próbować osiągnąć cele, ale bez sprecyzowanych priorytetów trudno byłoby zmaksymalizować sukces. Jeśli zdalny użytkownik przejmie

kontrolę nad ładunkiem lub robotem, może nie zrozumieć trudności lub niebezpieczeństw związanych z tym, o co prosi robota.

## **Zaufanie**

Głównym problemem użytkowników robotów jest zaufanie, a konkretnie czy użytkownik może ufać, że robot będzie działał zgodnie z oczekiwaniami? Zaufanie jest często równoznaczne z wygodą użytkownika robota, na przykład, nawet jeśli użytkownik ma pewność, że robot został przetestowany i działa niezawodnie, jest zaniepokojony lub czuje się niekomfortowo podczas korzystania z robota. Zaufanie jest również związane z upodmiotowieniem, na przykład robot pozwala mi działać lepiej i chcę go wykorzystać, aby poprawić swoją wydajność.

## **PIĘĆ CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA ZAUFANIE**

Niezawodność jest jednym z elementów zaufania, ale istnieją co najmniej cztery inne czynniki. Zaufanie, ponieważ odnosi się do akceptacji nowej technologii, często oznacza korzystne spełnienie czterech z pięciu wymienionych w niej czynników, które wpływają na to, jak dana osoba decyduje się na przyjęcie innowacji. Piątym czynnikiem jest względna przewaga innowacji, która jest niezależna od zaufania. Cztery czynniki to:

\* **Kompatybilność** lub stopień, w jakim robot jest zgodny z istniejącymi wartościami, przeszłymi doświadczeniami i potrzebami. Robot, który wymaga poważnej zmiany standardowych procedur operacyjnych, wprowadza niepewność i ryzyko. Robot może ułatwić jedno zadanie, ale utrudnić większy zestaw zadań. Innym przykładem kompatybilności jest podobieństwo zadań, do których robot był stosowany w przeszłości, do zadań, z których korzysta obecnie. Zastosowanie robota w nowej domenie wiąże się z ryzykiem niedopasowania wydajności i niezawodności.

\* **Złożoność**, czyli stopień, w jakim robot jest postrzegany jako trudny w obsłudze. Podczas upadku World Trade Center z 11 września respondenci odmówili użycia iRobot Packbota, twierdząc, że wygląda on zbyt eksperymentalnie. Komentarz „wyglądał zbyt eksperymentalnie” wynikał z wyglądu jednostki sterującej operatora. Urządzenie fizycznie składało się z joysticka do gier komputerowych podłączonego do laptopa i wyglądało bardziej jak zabawka niż coś, co mogłoby być używane w sytuacjach życia i śmierci. Wyświetlacz interfejsu był zestawem okien zaprojektowanych dla inżynierów i wyglądał na skomplikowany. Respondenci zdecydowali się zamiast tego na użycie robota firmy Foster-Miller, Inc. SOLEM o mniejszej sprawności fizycznej, który miał dedykowaną jednostkę sterującą operatora z kilkoma opcjami i wzmocnionymi złączami.

\* **Testowalność** lub stopień, w jakim można eksperymentować z robotem w ograniczonym zakresie. Jak można się spodziewać, zażyłość zachęca do zaufania. Im więcej użytkownik może trenować z robotem w różnych scenariuszach, tym bardziej użytkownik ufa systemowi. W tym przypadku zaufanie lub brak zaufania wynika z opracowania przez użytkowników wewnętrznego modelu tego, jak robot spełnia lub odbiega od ich oczekiwań. Jeśli użytkownik ma pracować z robotem lub obok niego bez przeszkolenia, robot musi być zaprojektowany tak, aby wzbudzał zaufanie zarówno podświadomie, jak i świadomie.

\* **Obserwowalność**, czyli stopień, w jakim można zaobserwować wyniki działań lub rozważań robota. Obserwowalność jest również określana w badaniach HCI jako widoczność. Wcześni badacze HCI odkryli, że użytkownicy czuli się niekomfortowo, gdy komputer nie reagował po krótkim czasie na zapytania lub polecenia; użytkownicy nie wiedzieli, czy komputer pracował nad zadaniem, czy też uległ awarii. Aby to przezwyciężyć, powszechnie stały się klepsydry, zegarki czy wirujące tęcze ikony. Użytkownicy niekoniecznie muszą obserwować szczegóły tego, co robot „myśli”, ale będą chcieli

wiedzieć, co robot próbuje zrobić. Interfejsy użytkownika robotów rutynowo zawierają teraz ikony i panele stanu, aby pomóc użytkownikowi zrozumieć stan robota. Bardziej zaawansowane interfejsy użytkownika mogą wyświetlać postęp w zadaniu.

### **Testowanie i metryki**

Biorąc pod uwagę, że interakcja człowiek-robot jest ważna, w jaki sposób robotnik może określić, czy system obsługuje dobre HRI? Często odpowiedź brzmi, że jakość HRI i przyczynę jej jakości należy wywnioskować z obserwacji ludzi i robotów w akcji lub w zaprojektowanych eksperymentach. Metody i metryki formalnych eksperymentów dotyczących interakcji człowiek-robot zazwyczaj próbują odtworzyć lub przedstawić zadania, środowisko, typy ludzi i robotów, które są zaangażowane w określonej dziedzinie. Zbierane dane dzielą się na cztery klasy, które dają co najmniej 42 różne metryki. Podczas testowania interakcji człowiek-robot pomocne jest wykorzystanie co najmniej trzech różnych klas zbierania danych, aby upewnić się, że pozyskiwane są przydatne dane oraz aby pomóc w kontroli krzyżowej i wyciąganiu mocniejszych wniosków. Testowanie interakcji człowiek-robot może wymagać zatwierdzenia przez instytucjonalną komisję rewizyjną w celu zapewnienia bezpieczeństwa i prywatności uczestników. Formalne eksperymentowanie systemów człowiek-maszyna jest dobrze rozumiane, a kursy projektowania eksperymentalnego są prowadzone na wydziałach psychologii lub inżynierii przemysłowej. Kursy te koncentrują się na projektowaniu powtarzalnych eksperymentów z wystarczającą ilością danych, aby były istotne statystycznie i powtarzalne. Powtarzalność i statystyka znaczenie są często sprzeczne z niekontrolowanym bałaganem systemu robot-człowiek działającego na dużą skalę. Ponieważ formalne eksperymenty na ogół koncentrują się na wąskim aspekcie systemu, ważne jest, aby upewnić się, że eksperyment odwzorowuje jak najwięcej oczekiwanego środowiska, czynności zadaniowych i zaangażowania człowieka; w przeciwnym razie wyniki mogą nie zostać przeniesione do świata rzeczywistego. W przeciwieństwie do wielu eksperymentów psychologicznych, które mogą wykorzystywać jako uczestników ochotników studentów pierwszego roku psychologii, robotyka może mieć różne klasy użytkowników, a demografia tych użytkowników może mieć wpływ na wyniki eksperymentów. Na przykład wykorzystanie uczniów jako obiektów w eksperymentach, aby określić, jak dobrze wyszkoleni astronauta lub strażacy używaliby robota, raczej nie przyniesie znaczących rezultatów.

### **Metody gromadzenia danych**

#### **CZARNOKSIĘŻNIK Z OZ (WOZ)**

Eksperymenty z ludźmi wchodzącymi w interakcje z autonomicznymi robotami na ogół przybierają jedną z trzech form. Jedną formą eksperymentuje z działającym systemem autonomicznym. W niektórych przypadkach może to nie być możliwe, biorąc pod uwagę niezbędny stopień wyrafinowania; na przykład naukowcy badający Dolinę Niesamowitości mogą nie być w stanie zbudować robota, który może autonomicznie poruszać się i zachowywać jak człowiek. Trudność budowania robotów o pożądanych zdolnościach autonomicznych prowadzi do form eksperymentów Czarnoksiężnika z Krainy Oz (WOZ), w których eksperymentator jest jak czarodziej z filmu Czarnoksiężnik z Krainy Oz chowający się za zasłoną i kontrolujący robota. Uczestnikowi eksperymentu Czarnoksiężnika z Krainy Oz robot wydaje się być autonomiczny. Trzecią formą eksperymentów są symulacje komputerowe. Popularność gier komputerowych sprawia, że wykorzystanie tej technologii jest naturalne. Symulatory te wydają się być bardziej przydatne do eksperymentowania z kontrolą robotów niż do badania interakcji ludzi z robotem. Pomocne mogą być jednak symulacje rzeczywistości mieszanej, w których człowiek pracuje z robotem wyświetlanym w pełnym rozmiarze na ekranie lub JASKINIĄ rzeczywistości wirtualnej. Niezależnie od formy eksperymentu, celem jest zebranie znaczących danych. Cztery szerokie klasy metod zbierania danych z eksperymentu to:

## WYWIADY, ANKIETY, DZIENNIKI

\* Wywiady, ankiety i publikacje. Metody te rejestrują subiektywne wrażenia z technologii post hoc lub po interakcji. Ankiety mogą być długie i zaangażowane lub krótkie, na przykład 10-pytowa Skala Użyteczności Systemu. Te metody często same w sobie nie wystarczają, ponieważ respondenci mogli zapomnieć o problemach, które pojawiły się podczas interakcji, mogą nie chcieć sprawić, by eksperymentator poczuł się źle lub powstrzymać się ze strachu, że negatywne opinie wpłyną na ich pracę.

## OBSERWACJA

\* Obserwacja. Obserwację można przeprowadzić za pomocą filmów etnograficznych i robienia notatek, które rejestrują subiektywną interpretację obserwatora tego, co się dzieje. Obserwator zachowuje się jak niema „muchy na ścianie”. Etnografię w terenie można ujednolicić za pomocą szablonów takich jak na rysunku.

	ROLE 1	ROLE 2	ROLE 3	MULTIPLE	TOTAL
distracted					
slips					
mistakes					
confused/hesitant					
asked questions					
bugs					
ergonomics					
TOTAL					

OBSERVATIONS:

Subiektywność związaną z etnografią można zmniejszyć, stosując formalne metody analizy protokołów, w których wielu obserwatorów niezależnie ocenia aktywność za pomocą schematu kodowania, takiego jak RASAR-CS. Schemat kodowania definiuje zdarzenia, takie jak kiedy i jak operator określa stan robota, wykonuje z nim określone zadanie i tak dalej. Zdarzenia zdefiniowane w schemacie kodowania są powiązane z dużą miarą HRI; na przykład zdarzenie „operator pyta, czy jego partner może stwierdzić, czy ramię robota jest całkowicie podniesione” oznaczałoby, że operator pracuje na poziomie świadomości sytuacyjnej 1 lub 2. Kodowanie jest subiektywne i, aby zmniejszyć błędy, potrzebnych jest wielu obserwatorów, zwanych oceniającymi, aby przeglądać i oceniać wideo i audio. Niezależne wyniki są następnie analizowane pod kątem zgodności między oceniającymi.

## BIOMETRIA

\* Biometria. Aspekty interakcji człowieka z robotem można zmierzyć lub wywnioskować na podstawie ruchów fizycznych i reakcji fizjologicznych. Śledzenie wzroku jest szeroko stosowane w HCI w celu określenia, jakie okna i ikony są oglądane przez użytkownika. Zmiany stresu spowodowane

zwiększonym obciążeniem pracą lub strachem i lękiem mogą być sygnalizowane zmianami częstości oddechów, rytmu serca i reakcji skórnej galwanicznej. Pomiar biometryczny jest generalnie inwazyjny, ponieważ człowiek musi nosić czujniki biometryczne.

Czujniki często ograniczają ruchy użytkownika lub są niewygodne. Na pomiary może mieć wpływ pot i czynniki środowiskowe użytkownika, zakłócając wiarygodne pomiary w warunkach terenowych na zewnątrz. Biometria jest zwykle używana w eksperymentach laboratoryjnych lub wysoce kontrolowanych eksperymentach terenowych.

## **TESTY SPECJALISTYCZNE**

\* Testy specjalistyczne. Eksperymentatorzy HRI mogą zawiesić aktywność i poprosić uczestników o wypełnienie ankiety lub wykonanie testu. Na przykład eksperyment może zostać zatrzymany w kilku z góry określonych punktach, a uczestnik poproszony o wypełnienie ankiety NASA-TLX, popularnego narzędzia. Ankieta jest subiektywna, ale ponieważ jest przeprowadzana bezpośrednio po aktywności, może być dokładniejsza niż ankieta post hoc. Mniej subiektywnym podejściem może być przerwanie eksperymentu i przeprowadzenie testu. Jednym z takich testów jest Globalna Technika Oceny Świadomości Sytuacyjnej (SAGAT). Wadą tego typu testów jest to, że są one destrukcyjne i mogą zakłócać wierność scenariusza, a tym samym wyniki mogą być zagrożone.

## **Metryka**

### **KATEGORIE WSKAŹNIKÓW HRI**

Po zebraniu dane o systemie można zbadać za pomocą wskaźników interakcji człowieka z robotem. Murphy i Schreckenghost zidentyfikowali wskaźniki, które zaproponowali lub wykorzystali różni badacze. Większość (29) metryk mierzyła pewien aspekt wydajności systemu, ale niektóre metryki mierzyły reakcję człowieka podczas interakcji z robotem lub jego aktywnością. Wskaźniki wydajności systemu zostały podzielone na pięć kategorii:

**WYDAJNOŚĆ** : Wydajność. Czy system człowiek-robot był skuteczny? Ile czasu poświęcono na operacje autonomiczne w porównaniu z operacjami ręcznymi?

**WYDAJNOŚĆ**: Wydajność. Czy system człowiek-robot był szybszy niż system tylko człowiek? Ilu ludzi zajęło obsługę robota?

**NIEZAWODNOŚĆ** : niezawodność. Ile razy człowiek musiał interweniować?

**BEZPIECZEŃSTWO**: Bezpieczeństwo. Czy robot stanowił zagrożenie dla ludzi? Czy miał świadomość ludzi w swojej kopercie roboczej?

**WSPÓŁAKTYWNOŚĆ** : Współaktywność. Czy podział pracy między człowiekiem a robotem działał dobrze? Czy robot wymagał nieoczekiwanego nadzoru nad delegowanymi zadaniami? Jak często robot napotykał problem lub musiał prosić o pomoc?

### **Interakcja człowiek-robot i siedem obszarów sztucznej inteligencji**

Dobra interakcja człowieka z robotem wymaga sztucznej inteligencji. Z pewnością interfejsy języka naturalnego wymagają zrozumienia języka naturalnego, jednego z siedmiu podstawowych obszarów. Jednak reprezentacja wiedzy jest niezbędna, zwłaszcza do uchwycenia wspólnej płaszczyzny i przekonań, pragnień i intencji. Wnioskowanie jest ważne, ponieważ interakcja jest wrażliwa na kontekst. Wpływ wizji komputerowej na interakcję człowiek-robot jest często pomijany, ale potrzebny jest do dostrzeżenia komunikacji niewerbalnej (np. gesty, pozy, mimika) oraz umiejscowionej wspólnej płaszczyzny (np. czerwona filiżanka kawy nad tam). Uczenie się przyczynia się również do zdolności



robota do dostosowywania się do indywidualnych preferencji. Interakcja człowiek-robot angażuje również rozproszoną sztuczną inteligencję, ponieważ w wielu przypadkach człowiek i robot dzielą się zadaniami i obowiązkami. Dobra interakcja między człowiekiem a robotem zależy również od ogólnej autonomii agenta w wykonywaniu zadania. Podejścia, które wyrażają autonomię jako stopień inicjatywy, o którym mowa w rozdziale 3, są atrakcyjne, ponieważ wyraźnie określają, co jest delegowane do robota z jakimi oczekiwaniami; autonomia jest ujęta w relacji z człowiekiem, a nie z zadaniem. Przypomnijmy, że w przypadku „braku autonomii” robotowi przydzielono zadanie, ale postępuje zgodnie ze sztywnym programowaniem związanym z zadaniem lub celem, podobnie jak tempomat w samochodzie. W autonomii procesu robot może wybrać algorytm lub proces, aby osiągnąć swoje cele zadania. Człowiek wie, że robot pracuje nad zadaniem, ale nie musi nadzorować ani zatwierdzać szczegółów. W autonomii stanu systemu robot może generować i wybierać między opcjami, aby osiągnąć swoje cele. Robot może zdecydować, czy wykonać zadanie sam, czy poprosić o to człowieka. Ten rodzaj autonomii wykracza poza ostrzeżenie, że stan kontroli poza pętlą jest istotny. Chodzi bardziej o zrozumienie możliwości członków zespołu w zakresie realizacji celu. Zamierzona autonomia pozwala robotowi zmieniać cele, aby spełnić zamierzoną rolę w zespole, na przykład pomagać zespołowi, przejmując niektóre funkcje innego gracza, który jest rozproszony lub nie działa dobrze. Wreszcie, w ramach autonomii ograniczeń, robot może tworzyć własne role i cele, rozluźniając ograniczenia swoich działań. Każdy z tych stopni inicjatywy implikuje różne metody interakcji, stopnie zaufania i testowanie. Na przykład w celowej autonomii robot musi zauważyć i zdiagnozować upośledzoną wydajność członka zespołu, aby przejąć odpowiednią część zadania. Stopień zaufania do przymusu autonomii jest znacznie wyższy niż w przypadku autonomii procesu. Testowanie i ocena są również znacznie różne i bardziej wymagające, ponieważ robot ma większą inicjatywę.

## **Podsumowanie**

Interakcja człowiek-robot ma fundamentalne znaczenie dla inteligentnych robotów, ponieważ ludzie są zaangażowani w roboty jako operatorzy, członkowie zespołu i osoby postronne. Robot zazwyczaj działa w jednym z trzech podstawowych trybów: jako agent zadaniowy, agent pomocniczy lub zapewniający zdalną obecność. Interakcja z człowiekiem może być kombinacją fizycznych, poznawczych i społeczno-emocjonalnych sposobów współpracy. Zrozumienie i zaprojektowanie dobrej interakcji człowiek-robot opiera się na pracy z dziedziny interakcji człowiek-komputer, psychologii i komunikacji, ale wykracza poza nie. Na przykład HCI oferuje Osiem Złotych Zasad projektowania interfejsów użytkownika, ale nie podaje żadnych zasad unikania Doliny Niesamowitości. Pierwszym krokiem w projektowaniu interakcji człowiek-robot dla aplikacji jest zrozumienie domeny aplikacji, co jest zwykle realizowane za pomocą kognitywnej analizy zadań w przypadku domen normatywnych lub poznawczej analizy pracy w przypadku dziedzin formatywnych. Po zrozumieniu domeny role i obowiązki każdego agenta, dynamika środowiska i zadania oraz wszelkie ograniczenia regulacyjne powinny być jasne. Dzięki temu można zastosować bezpieczną formułę stosunku człowieka do robota w celu określenia wymaganej siły roboczej. Każdy użytkownik lub rola może potrzebować innego interfejsu użytkownika w celu skonstruowania i utrzymania wszystkich trzech poziomów świadomości sytuacyjnej. Pilot może wymagać świadomości sytuacyjnej w zakresie stanu nawigacji i platformy, ale specjalista ds. ładunku może nie dbać o te atrybuty i potrzebować wiedzy sytuacyjnej na temat postępów misji i działania ładunku. Komunikacja w języku naturalnym, w której użytkownik zapewnia wyraźną interakcję werbalną i gestykulacyjną oraz niejawną pozę, gesty i mimikę, jest atrakcyjna, ale nadal wykracza poza praktyczne możliwości sztucznej inteligencji. Nie ma zasad podziału obowiązków między człowiekiem a robotem; jednak projektant musi mieć świadomość, że ukryte założenia, jakie ludzie mają na temat delegowania i dzielenia się zadaniami z innymi ludźmi, dotyczą również robotów. Niestety roboty nie wychwytyją ukrytych aspektów pracy w grupach. Gdy te niejawne założenia dotyczące delegowania i udostępniania nie są wyraźnie uwzględnione, pojawia

się problem kontroli człowieka poza pętlą, w którym zadanie lub proces napotyka problem, a człowiek, który jest zaangażowany w inne zadanie, musi przejąć kontrolę niespodziewanie, ale nie ma możliwości ani czasu na rozwiązanie problemu. Chociaż zaufanie jest zwiększane przez czynniki niezwiązane z HRI niezawodności i możliwości testowania robota, dobra interakcja między człowiekiem a robotem powinna jeszcze bardziej zwiększyć zaufanie. Projekt interakcji może zwiększyć zaufanie, zachowując zgodność i spójność z istniejącymi procedurami organizacji i zestawami umiejętności pracowników, zmniejszając złożoność systemu, a nawet pozory złożoności, a także zapewniając interfejsy użytkownika, które zwiększają obserwowalność lub widoczność tego, co robot robi. HRI wymaga innego stylu testowania i oceny niż wydajność algorytmiczna. Eksperymenty z udziałem ludzi będą prawdopodobnie podlegały regulacjom i będą wymagały przeglądu przez instytucję lub organ rządowy w celu zapewnienia bezpieczeństwa i prywatności uczestników. Wracając do pytań postawionych we wstępie, odpowiedź na pierwsze pytanie: Ile osób potrzeba do uruchomienia robota? jest to, że stosunek człowieka do robota zależy od ekologii: środowiska, zadania i samego robota. Stosunek najgorszego przypadku można obliczyć za pomocą wzoru na bezpieczny stosunek człowieka do robota  $N_{\text{people}} = N_{\text{vehicle}} + N_{\text{payloads}} + 1$ . Projektant może następnie określić, czy stosunek można zmniejszyć, jeśli interfejsy użytkownika, ograniczenia poznawcze wprowadzone przez duże obciążenie pracą i ludzkie problemy ze sterowaniem out-of-the-loop i pozwalają na to przepisy. Jak podzielić obowiązki lub role? zależy również od ekologii. Bardziej wydajnemu robotowi można delegować więcej funkcji i inicjatywy. Zdefiniowanie wszystkich interesariuszy i ich ról stanowi bardziej subtelne wyzwanie. Łatwo zapomnieć o interesariuszach, takich jak menedżer programu usług edukacyjnych, który musi zobaczyć stan wszystkich robotów i zdalnie rozwiązywać problemy, ale ci interesariusze mogą mieć krytyczne znaczenie dla przyjęcia robotyki. Odpowiedź na pytanie: Jak ludzie lubią wchodzić w interakcje z robotami? jest nieco łatwe, ponieważ ludzie lubią wchodzić w interakcje z robotem tak wygodnie i naturalnie, jak to tylko możliwe, ale wygoda i naturalizm mogą być trudne do osiągnięcia. Ludzie „za” robotem preferują multimodalne interfejsy użytkownika, które są dostosowane do ich potrzeb, pomagają w osiągnięciu poziomu 3 SA i zwiększają zaufanie, że robot wykonuje delegowaną część pracy. Ludzie „z przodu” i „obok” robotów naziemnych podświadomie wchodzi z nimi w interakcje społeczne, zgodnie z paradygmatem Computers Are Social Actors. Ludzie wynioskują intencje i kompetencje z wyglądu robota. Reagują również na stopień naturalizmu w ruchach i manierach, podążając za krzywą Uncanny Valley. Reagują na roboty naruszające ich przestrzeń osobistą, podążając za proksemikami. Biorąc pod uwagę pytanie: czy roboty i ludzie muszą się rozumieć (np. mieć wspólny model poznawczy)?, stopień, w jakim roboty i ludzie potrzebują wspólnej płaszczyzny lub posiadania modeli swoich przekonań, pragnień i intencji, jest nieznanym. Posiadanie wyraźnych modeli poznawczych wiąże się z zaufaniem interpersonalnym, ale może nie być konieczne, aby zaufać robotowi w wykonywaniu dobrze zdefiniowanych zadań. Dlaczego nie mogą po prostu powiedzieć robotowi, co ma robić, bo wtedy nie muszą się martwić o interfejsy i sterowanie? jest niestety błędnym pytaniem, ponieważ ignoruje wyzwania związane z projektowaniem robotów rozumiejących język naturalny. Zaprojektowanie dobrej interakcji człowieka z robotem kończy projektowanie warstw interaktywnych.