

1 Sztuczna Inteligencja

Większość programów komputerowych nie zachowuje się szczególnie inteligentnie. Wszędzie tam, gdzie znamy dokładny algorytm działania, prowadzący do wykonania interesującego nas zadania, inteligencja nie jest konieczna. Jest jednak wiele problemów, których rozwiązanie nie daje się ująć w ścisłe reguły lub wymaga tak wielkiej liczby obliczeń, że jest niewykonalne. W takich przypadkach rozwiązanie wymaga pewnej dozy inteligencji z naszej strony, a jeśli ma wykazywać ją program komputerowy, mówimy o inteligencji sztucznej.

Nie mamy dobrej definicji pojęcia „inteligencja”, stąd trudno jest również zdefiniować precyzyjnie inteligencję sztuczną. Jedna z definicji głosi, że inteligencja to zdolność do wykorzystania posiadanej wiedzy. Narosło wokół tej dziedziny wiele nieporozumień. Celem sztucznej inteligencji jako dziedziny nauki jest projektowaniem inteligentnych systemów, to znaczy systemów wykazujących cechy podobne do cech inteligentnego działania człowieka: rozumowania, uczenia się, rozumienia języka, rozwiązywania problemów. Celem głównym jest więc zrobienie sprawniejszych komputerów. Celem wtórnym (dla chętnych na Nagrodę Nobla) jest zrozumienie umysłu człowieka i natury jego inteligencji.

Sztuczna inteligencja (od angielskiej nazwy **Artificial Intelligence** powszechnie używa się skrótu **AI**) to dziedzina, która może zmienić całkowicie nasz świat. Dla badaczy jest ona trochę niewdzięczna, bo trudno jest w niej znaleźć proste i ładne rozwiązania, prawa inteligencji na wzór praw fizyki czy chemii. Być może prawa takie wcale nie istnieją, a być może istnieje zależność wiążąca ścisłość wyniku (pewność rozwiązania) z jego złożonością, czyli ilością obliczeń, potrzebną do jego znalezienia. Złożone rozumowanie byłoby wówczas zawsze obarczone dużą niepewnością.

Są dwa odmienne podejścia do sztucznej inteligencji. Zwolennicy pierwszej z nich, określanej jako wersja słaba AI, głoszą, że komputer pozwala formułować i sprawdzać hipotezy dotyczące mózgu. Co do tego nie ma wątpliwości. Mózg dokonuje wielu obliczeń i sposób, w jaki wrażenia zmysłowe są przetwarzane zanim nie powstanie w naszym umyśle wrażenie, jest do pewnego stopnia zrozumiałe. Potrafimy nawet zaprojektować trójwymiarowe obrazki, pozornie składające się z chaotycznych kropek, wiedząc, jakie obliczenia wykonywane są przez układ wzrokowy. Wysuwane są jednakże dużo silniejsze twierdzenia dotyczące sztucznej inteligencji, a mianowicie, że odpowiednio zaprogramowany komputer jest w istotny sposób równoważny mózgowi, a więc podobnie jak człowiek, ma stany poznawcze. Jest to bardzo kontrowersyjne twierdzenie i dyskusja na ten temat wśród filozoficznie nastawionej części specjalistów

rozpoczęła się jeszcze przed formalnym zdefiniowaniem sztucznej inteligencji jako gałęzi nauki (stało się to w 1956 roku) i toczy do dziś. Zamiast wdać się w filozoficzne rozważania postaram się pokazać tu z lotu ptaka, czym jest ta dziedzina obecnie i czego się po niej można spodziewać.

Bez wątplenia w badaniach nad sztuczną inteligencją jesteśmy nadal na początku drogi. Można w tej dziedzinie wyróżnić dwa wielkie nurty badań. Nurt klasyczny, oparty na programowaniu logicznym, modelujący działanie umysłu na poziomie werbalnym, symbolicznym, oraz nurt inspirowany przez biologię, budowę mózgu, próbę budowy sztucznych układów o strukturze podobnej do struktury sieci neuronowej mózgu. Chociaż metody stosowane w tych obu nurtach sztucznej inteligencji są dość odmienne podejmowane są próby integracji symbolicznego opisu działania umysłu i działania mózgu na poziomie jego sieci neuronowej.

1.1 Kluczowe zagadnienia sztucznej inteligencji

Obecnie oprogramowanie komputerów pozwala im już co prawda na wykonywanie złożonych zadań, ale są to w większości zadania dobrze określone, wiemy dokładnie, jak je rozwiązać. Komputer wykonuje ściśle określone instrukcje. Wszystkie zagadnienia, dla których nie potrafimy znaleźć algorytmu, czyli przepisu, który wykonywany krok po kroku zapewniłby nam w rozsądnym czasie rozwiązanie, wchodzą w zakres zainteresowań sztucznej inteligencji. Niezależnie od celów perspektywicznych tej dziedziny, na co dzień specjaliści od AI zajmują się zupełnie konkretnymi problemami.

Rozwiązywanie problemów logicznych, takich jak gry i zagadki logiczne, to dobre pole do doświadczania do testowania metod rozumowania i rozwiązywania problemów. Techniki planowania i przewidywania w dobrze zdefiniowanych sytuacjach, takich jakie mają miejsce w grach planszowych, są już mocno zaawansowane. Programy komputerowe osiągają mistrzowskie rezultaty w warcabach. W 1994 roku po raz pierwszy program szachowy wygrał z mistrzem świata (był to zapewne przypadek związany z pomyłką przy grze wymagającej bardzo szybkich odpowiedzi).

Rozumowanie logiczne jest stosunkowo prostym rodzajem rozumowania, do którego zdolny jest umysł człowieka. Dowodzenie twierdzeń matematycznych podlega ścisłym regułom zapisywanym w bazie danych jako dyskretne struktury danych. Chociaż w prostych przypadkach rozumowania logicznego dają się zastosować ścisłe metody dowodzenia i rozumowania, to szczególnie interesujące są problemy skomplikowane, w których trzeba się skupić na istotnych faktach i hipotezach i nie ma szans na ścisłe rozwiązanie. Projektowanie układów logicznych obwodów scalonych często oparte jest na technikach sztucznej inteligencji.

Język naturalny stwarza bardzo wiele problemów. Na czym polega rozumienie języka naturalnego? Celem badań AI w tym zakresie jest budowa oprogramowania, które będzie mogło dawać poprawne odpowiedzi na pytania zadawane w języku naturalnym, budowanie baz danych na podstawie tekstów książek i dokumentów, automatyczne tłumaczenie tekstów z jednego języka na drugi. Zrozumienie słowa mówionego, a więc przetworzenie go na słowo pisane, również nie daje się ująć w algorytmy.

Programowanie automatyczne, czyli autoprogramowanie, na podstawie opisu algorytmu przy pomocy języka naturalnego, wymaga kilku elementów inteligentnego zachowania się: zrozumienia opisu, zaplanowania działań, doboru instrukcji. Nie wydaje się, by można było stworzyć system programowania automatycznego bez możliwości uczenia się takiego systemu. Uczenie się jest jednym z najważniejszych inteligentnych zachowań, niestety jest to bardzo trudne i mało rozumiane zagadnienie. Uczenie się na przykładach, przez analogię, typowe dla człowieka, w systemach AI opartych na logice i symbolach, jest prawie niespotykane. Z komercyjnego punktu widzenia szczególnie ważne jest automatyczne programowanie dostępu do baz danych na żądanie managerów.

Ekspertyza dokonywana przez komputerowe systemy doradcze (systemy eksperckie) jest jednym z najbardziej widocznych rezultatów badań nad sztuczną inteligencją. Systemy doradcze tworzone są przez „inżynierów wiedzy”, specjalistów znających się na metodach reprezentacji (przechowywania) wiedzy. Wiedza eksperta często nie jest świadoma, wynika z jego doświadczenia, więc etap **akwizycja wiedzy** (gromadzenia i wydobywania wiedzy) może być bardzo trudny. System doradczy powinien pomagać w rozwiązywaniu problemów, dla których brak jest dobrej teorii, ale udało się zgromadzić wiedzę empiryczną. Taki system może zadawać pytania, zalecić wykonanie testów, zaproponować rozwiązanie lub ocenę problemu, uzasadnić przyjęte rozwiązania i ocenić ich wiarygodność. Wiedza eksperta dotyczy wąskiej i dobrze zdefiniowanej dziedziny, dużo trudniej jest stworzyć system wykazujący zdrowy rozsądek. Najpopularniejsze obecnie systemy doradcze stosowane są w matematyce. Nazywa się je programami lub językami programowania do obliczeń symbolicznych. Jest w nich zgromadzona spora wiedza matematyczna.

Robotyka i komputerowa wizja wymaga również sztucznej inteligencji. Programy komputerowe manipulujące kończynami robotów muszą rozwiązywać problemy optymalizacji ruchów i planowania sekwencji czynności dla osiągnięcia odległego celu. Większość robotów przemysłowych jest bardzo prymitywna. Trzeba je wyposażać we wzrok, słuch, czucie i zdolność do planowania działania. Rozpoznawanie kształtów i cech przedmiotów na komputerowym obrazie, rozbicie obrazu na przedmioty (segmentacja obrazu) jest również inteligentnym działaniem.

1.2 Wiedza.

Zachowanie inteligentne zależne jest nie tylko od zdolności kojarzenia, ale przede wszystkim od posiadanej wiedzy. Kiedy demonstrowano program komputerowy służący do tłumaczenia z angielskiego na chiński obecny przy tym senator amerykański, zapytany o podanie jakiegoś zdania do tłumaczenia, powiedział: „out of sight, out of mind”, co z oczu to z głowy. Program wypisał na ekranie parę chińskich znaków. Proszony o przetłumaczenie zdania z chińskiego na angielski napisał: „Invisible idiot”, czyli niewidoczny idiota. W dosłownym tłumaczeniu „out of sight” oznacza coś niewidocznego a „out of mind” oznacza „zwariować, stracić umysł”. Historia ta przytaczana jest często na potwierdzenie tezy o niezdolności programów komputerowych do inteligentnego zachowania. Nie świadczy to jednak o głupocie programu, ale o braku znajomości idiomu, czyli braku wiedzy. Zgromadzenie odpowiedniej wiedzy i jej wewnętrzna reprezentacja jest podstawową sprawą dla wszystkich systemów mających się inteligentnie zachowywać. Specjaliści od metod reprezentacji wiedzy nazywają się **inżynierami wiedzy** (knowledge engineeres). W filozofii nauk o naturze wiedzy jest **epistemologia**. Można więc całą tę dziedzinę określić mianem eksperymentalnej epistemologii. Jak w programach komputerowych można reprezentować wiedzę?

Czym właściwie jest wiedza? Nad tym pytaniem debatuje się od bardzo dawna. W AI podchodzi się do tego problemu pragmatycznie: reprezentacja wiedzy to kombinacja struktur danych i procedur interpretacyjnych tak dobranych, że właściwie użyte, prowadzić będą do inteligentnego zachowania. Same struktury danych nie są jeszcze wiedzą, tak jak sama encyklopedia nią nie jest, potrzebny jest jeszcze czytelnik, interpretator. Czasami mówi się o źródle wiedzy jako o wiedzy, ale to tylko nieścisłość językowa.

Rodzaje wiedzy:

Obiekty: Myśląc o świecie zwykle myślimy o przedmiotach. Ptaki mają skrzydła. Bociany to ptaki. Zimą jest śnieg. Potrzebujemy metody do reprezentacji obiektów i kategorii obiektów.

Zdarzenia: oprócz obiektów mamy zdarzenia. Będzie padało. Wieje wiatr. Oprócz informacji o samych zdarzeniach trzeba znać następstwa przyczynowe i sekwencję czasową zdarzeń.

Umiejętności: to znacznie trudniejszy do zdefiniowania typ wiedzy.

Pewnego razu na dwór chińskiego cesarza przyszedł garncarz i spotkał tam urzędnika, zatopionego w lekturze jakiejś książki. Zapytał go o drogę i dodał zaciekawiony:

- O czym, panie, czytasz?

- Czytam księgę mądrości (Tao Te King) - odparł na to dworzanin.
Garncarz roześmiał się na te słowa.
- Czemu się śmiejesz - pyta rozzłoszczony urzędnik.
- Czcigodny pan musi żartować. Ja nawet swojego czeladnika nie mogę nauczyć lepienia garnków z książek, jak więc mądrość można by zawrzeć w książce?

Lepienie garnków czy jazda samochodem to wiedza o tym, jak wykonywać pewne zadania, wiedza, którą zdobywa się metodą prób i błędów, której nie można przekazać w sposób werbalny.

Meta-wiedza: to wiedza o samej wiedzy, wynikająca z niedoskonałości naszej percepcji i metod pomiarowych, a więc z niepełnych danych, z oceny wiarygodności tych danych, z ograniczeń ludzkiej pamięci i zdolności do rozumowania.

Wierzenia, prawdziwe czy fałszywe, z góry powzięte nastawienia, wpływają na rozumowanie w oczywisty sposób. Mają różne stopnie pewności i trzeba je traktować jako pewien rodzaj wiedzy.

Sprawy klasyfikacji wiedzy nie są proste i prowadzą do głębokich problemów psychologii poznawczej. Pominę je tutaj, koncentrując się na używaniu wiedzy. W grę wchodzi tu trzy aspekty:

- (a) gromadzenie nowej wiedzy
- (b) wydobywanie z bazy wiedzy faktów, związanych z danym problemem
- (c) rozumowanie przy użyciu tych faktów w poszukiwaniu rozwiązania.

Gromadzenie wiedzy nie jest tylko jej akumulacją, dodawaniem nowych faktów, a przynajmniej tym być nie powinno. Wymagany jest tu proces tworzenia związków z już istniejącą wiedzą. Konieczna jest więc klasyfikacja wiedzy (by wiedzieć „z czym to się je”), interakcja z wiedzą już posiadaną (przy czym możliwe są interferencje z już zintegrowaną wiedzą). Musimy sobie jakoś radzić z formą prezentacji wiedzy naturalną dla ludzi po to, by bazę wiedzy można było ocenić i zrozumieć. Brak integracji wiedzy może dać w wyniku bazę danych a nie bazę wiedzy.

Wydobywanie wiedzy jest dla człowieka tak naturalne, że tego nie zauważamy. Myślimy poprzez skojarzenia, ale jak kojarzyć w komputerowych programach? Jeśli podejrzewamy, że skojarzenia między parą struktur danych będą przydatne, można je łączyć (linking), jeśli jakaś grupa pojęć jest ze sobą związana, stosuje się ich grupowanie (lumping). Niestety, taka z góry ustalona struktura wyklucza większość nieprzewidzianych skojarzeń.

Rozumowanie występuje wtedy, gdy system ma zrobić coś, co nie jest w jawny sposób zaprogramowane. W najprostszym przypadku może to być sylogizm, taki jak:

- 1) wszyscy ludzie to ssaki;

2) Jacek jest człowiekiem.

Program bez kłopotu odpowie na pytania zawarte w sposób dosłowny w bazie danych: czy ludzie to ssaki itp. Ale by odpowiedzieć na pytanie „czy Jacek jest ssakiem?” musi przeprowadzić rozumowanie, połączyć ze sobą dwa fakty i wyciągnąć wniosek. W tym przypadku jest to bardzo proste, ale jeśli faktów mamy tysiące, to które ze sobą skojarzyć? Jeśli rozumowanie wymaga wielu kroków a na każdym kroku mamy do wyboru wiele możliwości, to próba rozumowania przez sprawdzanie wszystkich wniosków bardzo szybko kończy się katastrofą, wymagając niewyobrażalnie wielkich zasobów pamięci i szybkości komputerów.

Rozumowanie formalne występuje w logice matematycznej i opiera się na ustalonych regułach wnioskowania. W życiu codziennym stosujemy wiele innych rodzajów rozumowania.

Rozumowanie proceduralne oznacza postępowanie według jakiejś instrukcji, procedury (np. procedury sądowej), a więc składa się z serii kroków. Jego szczególną odmianą jest budowanie modelu i symulacja komputerowa danej sytuacji.

Rozumowanie przez analogię jest często stosowane przez ludzi, ale bardzo trudne dla programów komputerowych. Np.: Kuba był kiedyś mały a wszystkie niemowlęta są, więc człowiek musi być ssakiem.

Rozumowanie przez uogólnianie jest bardzo powszechne w życiu codziennym i w matematyce, ale trudno jest je zaprogramować. Rozumowanie przez indukcję, często stosowane w matematyce, spotyka się w systemach AI bardzo rzadko. Dla ludzi jest to jedno z głównych źródeł wiedzy, często zresztą błędnej, gdyż skłonni jesteśmy do zbyt szybkich uogólnień.

Meta-rozumowanie związane jest z wiedzą o tym, co już wiemy, np.: czy ja to mogę skądś wiedzieć?

Wiedza, wykorzystywana w systemach sztucznej inteligencji, nazywa się często wiedzą **heurystyczną**. Heurystyczny oznacza „służący odkryciu”. Jest to więc wiedza, która może - ale nie gwarantuje - doprowadzić do rozwiązania, jakaś strategia czy reguła postępowania. Poszukiwanie heurystyczne rozwiązania problemu wykorzystuje taką wiedzę, jest więc przeciwieństwem poszukiwania ślepego. Wprowadzając nową wiedzę, system doradczy powinien ustalić, w jaki sposób wiedza ta będzie używana, czy da się ją efektywnie wykorzystać. Teoria reprezentacji wiedzy jest jeszcze w powijakach, nie wiemy czemu jedne schematy działają lepiej niż inne. The proof is in the pudding, jak mawiają Anglicy, czyli wady i zalety różnych reprezentacji okazują się dopiero w praktyce. Działanie ludzkiego umysłu nie daje się opisać przy pomocy żadnej ze znanych reprezentacji wiedzy.

1.3 Przykłady zastosowań

Gry

Jednym z najbardziej znanych rezultatów prac nad sztuczną inteligencją jest rozwój programów do gry w warcaby, szachy i inne gry planszowe. **DEEP THOUGHT** to program i sprzęt komputerowy do gry w szachy, rozwijany od 1985 roku przez 4 amerykańskich studentów. W dziedzinie gier planszowych nie prowadzi się zbyt wielu badań ze względu na brak funduszy. Wyjątkiem są do pewnego stopnia szachy gdyż symulatory szachowe dają się sprzedać a program, który jest w stanie zwyciężyć z mistrzem świata, nadaje się dobrze do reklamy firmy i komputerów. Zarówno Intel jak i IBM zaangażował w konstrukcję komputerów szachowych i w badaniach nad rozwojem algorytmów opartych na szukaniu spore środki. Szkocki międzynarodowy mistrz szachowy ufundował nagrodę dla programu szachowego, który ogra go chociaż raz na cztery partie, ale przegrał już w 1985 roku i to wszystkie partie. Program Chess Genius w 1994 roku w kilku partiach zwyciężył mistrza świata, Gary Kasparova, jednak czas grania ograniczony był do 25 minut na zawodnika, ale program wykonywał się na zwykłym komputerze osobistym z procesorem Pentium a nie na superkomputerze. Tymczasem IBM pracuje nad systemem wieloprocesorowym **Deep Blue**, który będzie analizował miliard pozycji w ciągu sekundy, a więc będzie działał ponad 100 razy szybciej.

Konstrukcja programów szachowych jest pewnym kompromisem pomiędzy wielkością pamięci i złożonością strategii gry a prostymi metodami szukania. Deep Thought używa specjalnego sprzętu komputerowego i wykorzystuje wyrafinowane procedury szukania najlepszych ruchów osiągając w skomplikowanych sytuacjach poziom przewidywania



około 10 ruchów a w prostszych przypadkach nawet większy. Statyczna ocena sytuacji na planszy uwzględnia liczbę figur i ich wzajemne położenie.

Istnieje prosta zależność pomiędzy liczbą ruchów, które można uwzględnić, a ilością punktów oceniających „siłę” programu. Mistrz świata Gary Kasparov ma obecnie około 2800 punktów. Przy ocenie do 5 ruchów w głąb program ma siłę około 1500 punktów. Empirycznie stwierdzono, że przy uwzględnieniu dodatkowego poziomu przybywa około 200 punktów na poziom, czyli około 2500 punktów przy przewidywaniu 10 ruchów.

Ponieważ efektywna liczba ruchów, które należy rozważyć korzystając z ogólnej strategii i bazy danych o rozegranych już partiach, wynosi dla każdego nowego ruchu około sześciu, przewiduje się, że kolejna generacja **Deep Blue** będzie robić plany na 14 ruchów w głąb i powinna zgromadzić znacznie więcej punktów niż mistrz świata. Siła tego systemu szacowana jest na około 3000 punktów i powstanie on zapewne w ciągu najbliższych kilku lat. Tymczasem w lutym 1996 roku rozegrano głośny mecz pomiędzy Gary Kasparowem a Deep Blue. Mecz zakończył się stosunkiem punktów 4:2. Kasparow, który jeszcze parę lat wcześniej wyśmiewał się z programów szachowych wygrał trzy partie, zremisował w dwóch i przegrał jedną. Chociaż tym razem Gary Kasparov, człowiek który w historii gry w szachy uznawany jest za najlepszego dotychczas gracza, wyszedł z pojedynku z komputerem zwycięsko, to sam przewiduje, że jest ostatnim mistrzem szachowym, któremu to się jeszcze udaje.

Mistrzowskie rezultaty osiągnąć można w warcabach i wielu innych grach planszowych. Chińska gra *go* jest znacznie bardziej złożona, pozwalając na każdym etapie na o wiele więcej możliwych ruchów niż szachy. Programy komputerowe do gry w *go* nie osiągają na razie wysokiego poziomu. Jedną z przyczyn jest brak poważniejszych prac nad rozwojem oprogramowania tego typu.

Rozumienie języka naturalnego.

Zainteresowanie analizą języka naturalnego wynika z wielu pobudek, w tym oczywiście również finansowych: komputera, z którym będzie można porozmawiać, każdy będzie mógł używać, nawet analfabeta (a w niektórych krajach jest to wielki rynek). Słowne wyjaśnienie tego, o co nam chodzi, może oszczędzić czas potrzebny na zaprogramowanie systemu komputerowego do wykonania określonego zadania. Istnieje dużo książek i innych materiałów pisanych, które system, rozumiejący język naturalny, mógłby przeanalizować bez specjalnego przygotowania danych i stając się tym samym uniwersalnym doradcą. Wiedza zawarta w encyklopedii plus nawet niewielkie możliwości rozumowania dałyby w efekcie bardzo przydatny system. Zagadnienia przetwarzania języka naturalnego wiążą się zarówno z reprezentacją wiedzy jak i z próbami rozumienia języka mówionego.

Dziedzina nauki, zwana **lingwistyką komputerową**, zajmująca się zastosowaniem komputerów do studiowania języków naturalnych, pojawiła się wkrótce po zbudowaniu pierwszych komputerów, przy końcu lat 40-tych. Na początku było to proste porządkowanie danych i robienie konkordancji. Jednym z pierwszych wielkich projektów popieranych przez IBM była praca nad konkordancją dzieł Św. Tomasza - praca, która trwała ponad 20 lat.

Już w 1949 roku zaproponowano (W. Weaver), by zastosować komputery do problemów tłumaczenia z różnych języków. **Tłumaczenie maszynowe** wyobrażano sobie jako przekładanie słowa za słowem i porządkowanie powstałych zdań zgodnie z regułami gramatycznymi docelowego języka. Pojawiły się jednak nieprzewidziane problemy,

zarówno w doborze słów jak i w ustalaniu gramatycznie poprawnego szyku. W ten sposób zagadnienie, trudniejsze niż początkowo zakładano, okazało się interesujące z naukowego punktu widzenia. Celem AI stało się takie zrozumienie języka, które pozwoliłoby na odpowiedzi na pytania i tłumaczenia maszynowe. Pierwsze programy do analizy języka pojawiły się w latach 60-tych. Spojrzenie na język naturalny znacznie się zmieniło: używanie mowy to skomplikowana działalność poznawcza, zakładająca wiedzę o znaczeniu słów, strukturze zdań, regułach konwersacji, pewien model słuchacza i dużo ogólnej wiedzy o świecie.

Najstarsze programy prowadzące dialog w języku naturalnym próbowały osiągnąć ograniczone rezultaty w wąskim zakresie używania języka. Programy takie jak **Baseball** (Green), **SAD-SAM** (Lindsay), **Student** (Bobrow), **Eliza** (Weizenbaum), używały przypadkowo dobranych struktur danych, by przechowywać fakty o określonym, wąskim obszarze wiedzy. Proste zdania wejściowe przeszukiwane były w celu identyfikacji słów kluczowych, reprezentujących znane pojęcie, obiekty czy związki. Odpowiedzi otrzymywano z gotowych zdań zawartych w bazie danych, dobieranych zależnie od słów kluczowych, w oparciu o heurystyczne reguły. Rezultaty działania niektórych z tych programów były imponujące i w znacznej mierze mylące. Wielu ludziom wydawało się, że programy te naprawdę są w stanie coś zrozumieć i być może uda im się nawet przejść słynny test Turinga. W uproszczeniu polega on na zgadywaniu przez ludzi prowadzących konwersację przy pomocy terminala, czy w rozmowie bierze udział człowiek czy komputer. Co roku organizuje się zawody dla programów komputerowych, mające na celu określić, jak daleko jesteśmy od spełnienia testu Turinga. Osobie podejrzliwej bardzo łatwo jest przejrzeć programy należące do opisanej tu grupy, ale ludzie podchodzący do komputerów bezkrytycznie, skłonni są im przypisywać dużo większą inteligencję, niż naprawdę mają.

Druga grupa to programy przechowujące tekst rozmów w bazie danych, poindeksowane na różne wyrafinowane sposoby, by dotrzeć do materiału zawierającego słowa lub frazy kluczowe. Przykładami jest tu **Semantic Memory** (Quillian 1968), **Protosyntax** (Simmons, Burger, Long 1966). Dzięki użyciu bazy danych systemy te nie były przywiązane swoją budową do jednej dziedziny, przez zmianę bazy danych można było zmienić dziedzinę konwersacji. W dalszym ciągu nie można tu jednak mówić o rozumieniu języka, odpowiedzi musiały być zawarte w bazie danych, brak było możliwości wnioskowania i tworzenia nowych skojarzeń.

Trzecia grupa programów oparta była na logice. W programach **SIR** (Raphael 1968), **TLC** (Quillian 1969), **Deacon** (1966) i **Converse** (1968) informacja zapisana była w bazie wiedzy przy użyciu reprezentacji wiedzy w postaci formuł logicznych. W pierwszym kroku dokonywana była analiza semantyczna - tłumaczenie zdań na wewnętrzną reprezentację logiczną. W ograniczonym zakresie pozwoliło to na odpowiedzi wymagające prostego wnioskowania, np. stwierdzenie: „Baja to dalmatyńczyk” wraz z informacją w bazie wiedzy: „dalmatyńczyk = podzbiór psów”, pozwala na odpowiedź: „Czy Baja to pies?”. Systemy te nie pozwalały jednak na

tworzenie skojarzeń ani na wyciąganie bardziej skomplikowanych wniosków logicznych ze względu na nieefektywność logicznej reprezentacji wiedzy.

Czwarta grupa programów oparta jest na nowszych bazach wiedzy. Równoległe z rozwojem schematów reprezentacji wiedzy nastąpił duży postęp w lingwistyce. Teoria gramatyk generatywnych Chomsky'ego (1957) wywarła duży wpływ na lingwistykę komputerową. Wprowadzono różne rodzaje gramatyk: transformacyjne, frazeologiczne, gramatyki przypadków, systemiczne i semantyczne. Rozbiór gramatyczny ma za zadanie „delinearyzację” zdania, określenie funkcji słów (przy pomocy reguł gramatycznych i innej wiedzy) i stworzenia modelu powiązań (w postaci drzewa lub grafu), określającego na przykład, że ten przymiotnik modyfikuje znaczenie tego rzeczownika, który jest podmiotem danego zdania. Systemy analizy języka zawsze zawierały jakiś rodzaj rozbioru gramatycznego, choćby bardzo prymitywny. **Parser** czyli program do rozbioru gramatycznego składa się z części definiującej gramatykę i z metod użycia jej reguł. Programy do analizy gramatycznej języka naturalnego, sprzedawane z niektórymi procesorami tekstu, są dość wyrafinowane, ale jeszcze dalekie od doskonałości.

Na początku lat 70-tych pojawiły się systemy oparte na bazach wiedzy, które potrafiły sobie radzić z syntaktyką i semantyką zdań w określonej, wąskiej dziedzinie. System **Lunar** (Woods) potrafił odpowiadać na pytania dotyczące próbek skał przywiezionych z księżyca, w oparciu o dużą bazę danych NASA. **Lunar** używał reprezentacji proceduralnej wiedzy (u lingwistów komputerowych nazywa się to semantyką proceduralną), pytania zamieniane były na programy i wykonywane w celu wywnioskowania z bazy danych odpowiedzi. Najbardziej znanym programem tego rodzaju był **SHRDLU** (Winograd), program prowadzący dialog z symulowanym komputerowo robotem, którego zadaniem było przestawianie obiektów (klocków różnego kształtu i koloru) na symulowanym stole i odpowiadanie na pytania z tym związane.

Eksperymentalne systemy prowadzące dialog w języku angielskim można kupić nawet dla komputerów osobistych. Nie działają one zbyt dobrze, wymagają raczej duże inteligencji od użytkownika ale jeśli się nauczymy, w jaki sposób je pytać, mogą być przydatne. Proste systemy tego typu największe zastosowanie znalazły dotychczas w grach przygodowych, szczególnie w rozbudowanych grach tekstowych. Duże systemy analizy NL (Natural Language, czyli języka naturalnego) zawierają tysiące reguł, działają wolno i są koszmarem dla programistów nad nimi pracujących. Używa się w nich wyrafinowanych metod analizy gramatycznej i reprezentacji wiedzy, często w oparciu o sieci semantyczne. Reguły działania tych sieci mogą być bardzo skomplikowane a ich zastosowanie może wymagać wykonania wielkiej ilości obliczeń. Systemy takie działają poprawnie w wąskich dziedzinach wiedzy, odpowiadając np. na pytania dotyczące sytuacji finansowej firm na podstawie wiadomości z serwisów prasowych i giełdowych. Nie jest jednak łatwo przenieść wiedzę takich systemów z jednej dziedziny do drugiej. Ich ceny są na tyle wysokie, że tylko bogate firmy są sobie w stanie na nie pozwolić.

Nad czym pracują specjaliści w dziedzinie analizy języka naturalnego obecnie? W większości są to próby wprowadzenia mechanizmów uczenia się do systemów NL. Spośród wielu tematów badawczych wymienię tu tylko kilka ciekawszych.

1) Nauka znaczenia fraz z przykładów kontekstowych. Program dopytuje się, czy dobrze zrozumiał parafrazując przeczytany tekst i próbuje stworzyć sobie wewnętrzną reprezentację nowego znaczenia słowa.

2) Komputerowe modele marzeń na jawie, powstawanie myśli i emocji w strumieniu myśli człowieka. O czym śnią komputery? Podobnie jak gady, o niczym. Ten projekt doprowadził do symulacji „dialogu wewnętrznego” człowieka, wyobrażania sobie nowych sytuacji, planowania przyszłości - chociaż bardzo rzadko rzeczywistość pokrywa się z naszymi wyobrażeniami, to w nielicznych przypadkach wcześniejsze przetrenowanie w wyobraźni różnych wariantów rozwoju sytuacji może się przydać.

3) Uczenie się związków przyczynowych przez integrację empirycznych i analitycznych metod nauki. Program OCCAM koncentruje się na uogólnianiu informacji na podstawie opisu zdarzeń dotyczących międzynarodowych sankcji ekonomicznych, porwań, zabaw dziecięcych. Po opracowaniu bazy wycinków prasowych na temat sankcji ekonomicznych może odpowiadać na pytania dotyczące przyszłych zdarzeń, np. co by było, gdyby wymusić zakaz eksportu samochodów koreańskich do Kanady, zabraniając sprzedaży komputerów do Korei? Odpowiedź: nie uda się osiągnąć celu, bo Korea kupi komputery gdzie indziej. OCCAM na podstawie statystycznej informacji robi uogólnienia tworząc związki przyczynowe.

4) Modele komputerowe rozumienia argumentów w tekstach gazetowych. Program czyta np. tekst Milтона Fridmana krytykujący protekcjonistyczną politykę rządu Reagana i odpowiada na pytania w rodzaju: dlaczego Friedman uważa, że ograniczenia importu spowodują wzrost amerykańskiego bezrobocia?

5) Wiele nowych projektów w zakresie analizy języka naturalnego to projekty hybrydowe, oparte na połączeniu symbolicznego, logicznego podejścia do analizy gramatycznej języka z bardziej intuicyjnym podejściem opartym na wykorzystaniu modeli sieci neuronowych. Zaletą tych modeli jest automatyczne tworzenie się skojarzeń pomiędzy pojęciami w słowniku systemu. Skojarzenia tworzą się na podstawie kontekstu, w jakim słowa pojawiają się w zdaniach.

Rozumienie słowa mówionego.

Zupełnie niezależnym tematem, związanym z rozumieniem języka naturalnego, jest rozumienie słowa mówionego i zamiana go na teksty, dźwiękowa wersja OCR. Po angielsku dziedzina ta nazywa się **Automatic Speech Recognition** albo **ASR**. Dlaczego nie jest to sprawa prosta i wymaga specjalistów od sztucznej inteligencji? Zapisywanie wzorców wymowy słów nie działa zbyt dobrze, bo ludzie wymawiają słowa w różny

sposób, zmieniają intonację głosu, w czasie normalnej rozmowy jest dużo szumów i dźwięków ubocznych. Nietrudno się przekonać, że jest to zadanie trudne, przysłuchując się szybkiej rozmowy w jakimś egzotycznym języku - wydaje się, że mowa nie jest złożona ze słów, ale długich fraz, w których trudno jest wydzielić poszczególne wyrazy.

W roku 1980 można było rozpoznać kilkaset słów, używając systemów dopasowanych do wymowy danego człowieka, lub do 20 słów, rozpoznawalnych w mowie różnych ludzi, pod warunkiem, że słowa te wymawiane są oddzielnie. Programy takie kosztowały dziesiątki tysięcy dolarów i oferowały około 95% dokładności rozpoznawania. Wyrażano nawet wątpliwość, czy uda się zrobić poprawnie działające systemy rozpoznawania mowy na większą skalę. Duży postęp nastąpił po wprowadzeniu technik programowania dynamicznego, poszukiwania najlepiej pasujących wzorców. W 1990 roku można było już rozpoznawać kilkadziesiąt tysięcy słów w oparciu o systemy używające sporej wiedzy kontekstowej, usiłujące zgadnąć, jakie to mogło być słowo w zależności od już rozpoznanych. Systemy te działają na komputerach osobistych. Niestety, wymagają one treningu w dostosowaniu się do wymowy właściciela a przy tysiącach słów to może trwać wiele dni. Rozpoznawanie mowy konkretnej osoby jest więc problemem w zasadzie rozwiązany, chociaż spodziewać się można znacznych ulepszeń w podejściu do tego zagadnienia. Systemy te wyrosły z prac z lat 70-tych nad programami HARP, HEARSAY, DRAGON.

Przykładem takiego oprogramowania jest system **Dragon Dictate**. Wymaga on długich czasów treningu, rzędu 8 godzin, by „przyswyczać się” do głosu dyktującego. IBM sprzedaje system rozpoznawania mowy o nazwie **Tangora** (Albert Tangora był mistrzem świata w szybkości pisanania na maszynie, ale systemy rozpoznawania mowy nie dorównują na razie szybkości pisanania dobrej maszynistki). Czas treningu tego systemu jest znacznie krótszy niż Dragon Dictate, wystarczy około pół godziny. Znacznie trudniej zrobić taki system w językach fleksyjnych. Istnieje również wersja włoska i wersja niemiecka tego systemu, rozpoznająca 20 tysięcy słów z dokładnością do 94%.

Dużo trudniejszym problemem jest rozpoznawanie mowy niezależnie od mówiącego, a szczególnie mowy ciągłej. Próbuje się analizować mowę dzieląc ją w różny sposób na wyrazy. Do całego zagadnienia można podejść jak do problemu przesyłania informacji w kanale szumów albo stworzyć model oparty na wiedzy lingwistycznej i fonetyce. Można do całego zagadnienia podchodzić jako do przesyłania informacji w zaszumionym kanale albo stworzyć model oparty na wiedzy lingwistycznej i fonetyce. Można próbować rozpoznawać słowa albo fonemy, na razie jednak nie wiadomo, które z tych podejść okaże się lepsze. Istnieją eksperymentalne systemy zdolne do rozpoznawania kilkuset słów i postęp w tej dziedzinie jest stały, chociaż nie rewolucyjny. Przykładem systemu z 1994 roku jest **Janus**, produkt amerykańsko-japońsko-niemieckiego Konsorcjum Badań nad Tłumaczeniem Mowy (Consortium for Speech Translation Research). System ten rozpoznaje mowę ciągłą w trzech językach (angielskim, japońskim i niemieckim), ale zna jedynie 400 słów. System dokonuje tłumaczenia w czasie rozmowy telefonicznej i

pozwała się porozumieć biznesmenom. System oparty jest na hybrydowej technice systemów doradczych i sieci neuronowych.

Po rozpoznaniu tekstu możemy nim operować tak, jak normalnym tekstem wpisanym z klawiatury, w szczególności możemy poddać go analizie językowej usiłując uchwycić jego znaczenie. Rynek na programy automatycznie rozpoznające mowę będzie bardzo szybko rósł. Przewidywania na 1997 rok mówią o 6 miliardach \$ USA w skali świata.

Tłumaczenie maszynowe

Prace nad tłumaczeniem maszynowym zaczęto w czasach, gdy nie było jeszcze sztucznych języków programowania, tylko język maszynowy, stąd ta nieco dziwna nazwa. Przyczyną tak wczesnego zainteresowania tłumaczeniem maszynowym były prace nad łamaniem szyfrów z czasów wojny, oparte na analizie częstości występowania liter. Prace nad pierwszymi algorytmami dla słowników podjęto już w 1947 roku, pierwsza praca na temat tłumaczenia maszynowego pochodzi z 1949 roku (W. Weaver).

Jak działają współczesne programy do tłumaczenia maszynowego? Nie da się tego robić słowo po słowie, ale jeśli wyobrazimy sobie nałożone na tekst okienko, w którym jest N słów, to słowo w środku tego okienka da się jednoznacznie przetłumaczyć. Liczba N nie musi być stała, może zależeć od słowa w środku okienka. Druga idea zawarta jest w stwierdzeniu: „patrzac na tekst w obcym języku mogę go uważać za zaszyfrowany tekst angielski”. Można więc do tekstów obcojęzycznych stosować metody deszyfrowania. Trzeci pomysł, to tłumaczenie na pośredni język uniwersalny, wrodzony wszystkim ludziom. Do pewnego stopnia ta idea jest obecnie realizowana w różnych systemach, szczególnie w Unii Europejskiej, gdzie trwają intensywne prace nad systemem automatycznego tłumaczenia dokumentów na języki narodowe państw członkowskich tej organizacji. Idea nie jest jednak nowa, gdyż już w 1952 roku na konferencji na temat tłumaczenia maszynowego zalecono implementację programu do tłumaczenia opartego na słowniku i pracę nad językiem pośrednim, nazwanym „machinese”.

W 1954 roku założono pismo **MT, Machine Translation**, powstało wiele grup zajmujących się tym problemem. Niestety, nie udało się zrobić tłumaczeń dobrej jakości i przybywało pesymistów. Stało się jasnym, że przekład z jednego języka na drugi wymaga zrozumienia i rekonstrukcji tekstu. Dzięki tym wczesnym próbom na początku lat 60-tych zrozumiano, że używanie języka zakłada proces modelowania świata w umyśle słuchacza, proces zupełnie nieświadomy. Maszyna do przekładów musi nie tylko zawierać słownik, ale i encyklopedyczną wiedzę. Raport z 1966 roku stwierdził: „nie udało się automatyczne tłumaczenie żadnego ogólnego tekstu naukowego i nie widać szans na szybki postęp w tej dziedzinie”. Do raportu dołączono przykłady maszynowych tłumaczeń wytykając oczywiste błędy istniejących wówczas systemów. Na pewien czas skończyły się pieniądze na badania nad tłumaczeniem maszynowym. Jednak już na początku lat 70-tych w metodach reprezentacji wiedzy dokonano znacznego postępu. W

latach 80-tych systemy doradcze były w stanie na tyle wspomagać rozumienie tekstu, by doprowadzić do powstania praktycznie użytecznych systemów tłumaczenia maszynowego.

MT nadal dalekie jest od doskonałości. Technologia tłumaczenia maszynowego używana jest obecnie do tłumaczenia pism technicznych, np. tłumaczenia wielu rosyjskojęzycznych pism naukowych i technicznych, ukazujących się w języku angielskim, są dokonywane maszynowo a następnie wygładzane przez specjalistów w danej dziedzinie. W sprzedaży jest kilka dużych, powolnych systemów do zadań specjalistycznych, stosowanych przez duże firmy wydawnicze i przemysłowe. Jest też sporo prostszych programów MT, obarczonych dużymi wadami, ale do wielu zastosowań przydatnych. Są to w zasadzie systemy wspomagające tłumaczenie, wymagające interaktywnej współpracy z człowiekiem. Najmniej kłopotów mają systemy tłumaczenia maszynowego z rzadkimi wyrazami, gdyż ich tłumaczenie jest zwykle jednoznaczne.

Program **Transcend** (Intergraph) działa na komputerach osobistych pod Windows NT, Windows 3.1 i na unixowych stacjach roboczych. Teksty w języku angielskim, francuskim i hiszpańskim tłumaczy bardzo szybko osiągając nawet 5000 słów na minutę na komputerze z procesorem Pentium. Niestety, podobnie jak i programy konkurencyjne dość często bardziej złożone konstrukcje gramatyczne nie są tłumaczone poprawnie i wyniki działania programu mogą być całkowicie niezrozumiałe. Dopisanie do słownika nowego wyrazu wymaga również określenia jego funkcji gramatycznych. Inne znane programy na komputery osobiste to PowerTranslator (Globalink) i Language Assistant (MicroTac). W Polsce opracowano program LexiTools do wspomagania tłumaczenia, nie jest to jednak program wykorzystujący wyrosłe ze sztucznej inteligencji techniki tłumaczenia maszynowego.

Połączenie tłumaczenia maszynowego i analizy języka naturalnego pozwoliło na początku lat 90-tych opracować system komputerowy dokonujący tłumaczenia w ograniczonym zakresie w czasie rzeczywistym. Połączenie telefoniczne za pośrednictwem takiego systemu umożliwia porozumienie się osoby mówiącej po angielsku z osobą mówiącą po japońsku lub niemiecku. Inny system, opracowany przez laboratoria AT&T, przeznaczony jest do niewielkich biur podróży i tłumaczy zdania z angielskiego na hiszpański i odwrotnie. Wystarczy wypowiedzieć całe zdanie a po kilku sekundach z głośnika płynie jego tłumaczenie. Wymaga to bardzo szybkiego komputera (w systemie AT&T jest to eksperymentalny system wieloprocesorowy), wykonującego pół miliarda operacji w ciągu sekundy. Powstanie podręcznych tłumaczy dokonujących przekładu prostych tekstów „na żywo” jest tylko kwestią czasu.

Pełne rozwiązanie problemów analizy języka naturalnego, obejmujących systemy analizy gramatycznej, dialogu w języku naturalnym, rozumienia tekstów i tłumaczenia maszynowego wymagają stworzenia systemów dysponujących bogatą wiedzą o świecie.

1.4 Systemy doradcze.

Najbardziej znane programy posługujące się technikami sztucznej inteligencji to systemy doradcze, zwane też systemami ekspertowymi. Wyróżnia je używanie obszernej wiedzy w postaci faktów i procedur (sposobów postępowania) zdobytych od prawdziwego eksperta. W drugiej połowie lat 60-tych rozpoczęły się pierwsze prace nad systemami, które można zaliczyć do kategorii systemów doradczych: system DENDRAL do wspomaganie syntezy organicznej dla potrzeb chemii, wprowadzony w Stanford University i systemem MACSYMA przeznaczony do algebry symbolicznej, rozwijany na MIT. Były to pierwsze systemy stosowane do przypadków, które wymagały prawdziwych ekspertów.

Na popularność systemów doradczych złożyło się kilka czynników. Pomagają one w rozwiązywaniu problemów wymagających najbardziej specjalistycznej (a więc najdroższej) wiedzy. W niektórych dziedzinach nie ma dostatecznej liczby ekspertów, w innych wiedza zanika a eksperci wymierają. W niektórych dziedzinach, np. w medycynie, liczy się fakt, że system doradczy działa bardziej systematycznie niż człowiek i nie przeoczy żadnej z możliwości.

Akwizycja (zdobywanie i gromadzenie) wiedzy wymaga transferu ekspertyzy i reprezentacji wiedzy eksperta. Do reprezentacji wiedzy w systemach doradczych stosuje się wszystkie znane sposoby reprezentacji wiedzy. Ekspert nie tylko wie rzeczy, których inni nie wiedzą, ale ma doświadczenie, które nie zawsze potrafi zwerbalizować, może działać „na wycucie”. Wiedza może być więc w postaci:

- ◆ Faktów z danej dziedziny wiedzy, np.: „W starych silnikach Diesla przy przegrzaniu dochodzi do gwałtownego podwyższenia obrotów na skutek chwilowego spalania oleju.”
- ◆ Reguł typu: „Przed zdjęciem obudowy wyciągnąć wtyczkę.”
- ◆ Heurystyk, czyli co by tu zrobić: „Jak nie zaskakuje a jest iskra, to warto sprawdzić przewód paliwa”.
- ◆ Ogólnych strategii postępowania
- ◆ Teorii danej dziedziny, np. teorii działania silników samochodowych.

Większość systemów doradczych uważać można za konsultantów, formułujących opinie i doradzających użytkownikom. Uznaje się je za inteligentne jeśli:

- a) system daje użyteczne porady;
- b) koncepcje i rozumowanie podobne jest do tych, które mógłby użyć ekspert w danej dziedzinie.

Systemy doradcze podtrzymują dialog z użytkownikiem i próbują wyjaśnić stosowane przez siebie sposoby wnioskowania. Program komputerowy ma jednak inne ograniczenia niż umysł człowieka i może używać bardziej złożonych algorytmów niż stosuje ekspert, np. w matematyce programy obliczające całki używają metod znanych ekspertom, ale nie stosowanych przez ludzi z powodu swojej złożoności; programy do analizy chemicznej generują struktury cząsteczek w oparciu o metody kombinatoryki i teorii grafów, podczas gdy eksperci pracują zbyt wolno, by korzystać z takich metod i tracą pewne możliwości z pola widzenia.

W niektórych zastosowaniach nie da się prowadzić rozumowania podobnego do stosowanego przez człowieka. W medycynie lekarze najczęściej nie posługują się teorią, tylko statystyką - jakie lekarstwo ostatnio pomogło pacjentowi, który miał takie pryszczki? Najczęściej stosowana jest reprezentacja przy pomocy reguł produkcji, czyli reguł typu „**jeśli** spełnione są jakieś założenia **to** jakiś fakt jest prawdziwy”. Korzystając z takich reguł usiłuje się rozbić wiedzę na niezależne fragmenty.

Główne zastosowania systemów doradczych to diagnoza i leczenie różnych chorób, pomoc w analizie i syntezie chemicznej, inteligentne systemy interakcyjne w edukacji, systemy wydobywania informacji z baz danych, systemy do algebry symbolicznej, systemy wspomagające badania geologiczne, systemy do zastosowań inżynierskich. Pojawiło się też sporo metasytemów, a więc systemów pomocnych przy budowaniu baz wiedzy systemów doradczych i akwizycji wiedzy. Stopień komplikacji systemu określa się najczęściej podając liczbę reguł, chociaż jest to bardzo nieprecyzyjne, gdyż tylko część wiedzy może być opisana przy pomocy reguł. Systemy zawierające około 500 reguł dają już ciekawe rezultaty a wnioski przez nie wyciągane mogą być trudne do przewidzenia, można więc powiedzieć, że ich zachowanie wykazuje pewien stopień inteligencji. Systemy powyżej 1000 reguł są wolne i mało stabilne.

Wśród systemów doradczych możemy wyróżnić:

Systemy kontrolne pozwalające na sterowanie skomplikowanymi układami, takimi jak automatyczne zakłady produkcyjne.

Systemy diagnostyczne, jedno z najbardziej popularnych zastosowań systemów doradczych w zagadnieniach technicznych, medycynie, analizie chemicznej i wielu innych problemach.

Systemy testujące, pomagające przy znajdowaniu problemów. Mogą być częścią systemów kontrolnych lub systemów diagnostycznych.

Systemy naprawcze, które nie tylko prowadzą testy ale i planują działania korekcyjne. Można do nich zaliczyć również niektóre systemy medyczne, zalecające leczenie.

Systemy projektujące wspomagają prace projektowe, takie jak projektowanie układów elektronicznych, CAD czy CAM.

Systemy edukacyjne czyli CAI, lub ICAI (Intelligent Computer Aided Instruction), a więc inteligentne wspomaganie nauczania.

Systemy interpretujące wspomagające analizę i interpretację informacji, wydobywanie informacji z baz danych, interpretujące dane geologiczne.

Systemy planistyczne wspomagające strategiczne działanie i planowanie zadań, np. planowanie syntezy związków chemicznych czy budowy systemów komputerowych.

Systemy prognostyczne wspomagające wyciąganie wniosków i przewidywanie tendencji.

Przykłady systemów doradczych.

Zastosowania w chemii.

Większość zastosowań komputerów w chemii sprowadza się do obliczeń numerycznych dla mniej lub bardziej złożonych modeli. Niestety nie da się w ten sposób określić struktury bardziej skomplikowanych cząsteczek ani zaplanować syntezy nowych związków. W analizie trzeba

- 1) określić strukturę substancji biologicznych
- 2) dokonać weryfikacji struktury nowych związków
- 3) określić strukturę leków i produktów metabolicznych.

Nie zawsze da się skryształizować związki i określić ich strukturę rentgenograficznie. Stosunkowo łatwo jest określić skład atomowy, ale liczba możliwych konformacji przestrzennych cząsteczek jest ogromna. Analiza przy pomocy spektrografu masowego pozwala określać fragmenty, na które rozpada się cząsteczka. Narzuca to więzy na strukturę: takie fragmenty są, takich nie ma. Istnieją algorytmy, pozwalające przy określonych fragmentach wyliczyć wszystkie możliwe struktury, ale zwykle jest ich zbyt wiele. Projekt **DENDRAL** miał na celu opracowanie metod generacji struktur chemicznych zgodnych z informacjami ze spektrografii masowej i informacjami z metod spektroskopowych w podczerwieni, w nadfiolecie, widm rezonansu jądrowego, a także informacji o reakcjach chemicznych. **CRYSALIS** to próba zastosowania systemów doradczych w krystalografii białek. Szczególnie ważnym zagadnieniem w chemii jest projektowanie dróg syntezy. Zwykle syntezę związków chemicznych osiągnąć można wieloma drogami, startując z różnych produktów, o różnych kosztach. Programy do wspomaganie projektowania syntezy, takie jak **SYNCHEM**, pozwalają na wyszukiwanie najtańszych lub najprostszych dróg reakcji. Ograniczenia, jakie stoją tu przed chemikami

wiążą się nie tylko z kosztami, ale i z warunkami doświadczalnymi przeprowadzania reakcji. Typowa synteza składać się może z ponad 10 odrębnych reakcji. Najprostszy steroid składający się z 20 atomów zsyntezować można na 10^{18} różnych sposobów!

CBC, czyli komputerowy konsultant.

System ten miał za zadanie pomagać niedoświadczonemu mechanikowi w naprawie, stąd dodano do niego moduł do rozpoznawania mowy i analizy języka naturalnego, by mógł zrozumieć pytania mechanika. Dodatkowo system wyposażony został w dalmierz laserowy i kamerę TV by widzieć, co się dzieje z naprawianym urządzeniem. Laser służy również za wskaźnik, np. system zapytany: „Gdzie jest obejma pompy?”, wskazuje na nią laserem. System doradczy posługuje się modelem wewnętrznym naprawianej maszyny, moduł dialogu w języku naturalnym ma również model struktur językowych dotyczących konstrukcji mechanicznych. CBC może zaplanować sekwencje czynności naprawczych na żądanie użytkownika i następnie udzielić mu instrukcji. W procesie planowania korzysta się z wiedzy o

- a) modelu urządzenia w postaci zbioru wierzchołków (części) i łuków (powiązań części);
- b) każde z połączeń wiąże się ze zbiorem procedur informujących o sposobie tworzenia tego połączenia;
- c) każda z procedur może odwołać się do innych, informujących o tym, jak należy wykonać dane połączenie.

PROSPECTOR - pomocnik geologa.

System doradczy asystujący geologom, określa rodzaj skały na podstawie zawartości różnych minerałów oraz określania typu złóż na podstawie dostępnych próbek. W tym systemie usiłowano odseparować mechanizmy wnioskowania od samej wiedzy, by dały się użyć w innych zastosowaniach. Program prowadzi dialog, pytając się o stopień przekonania geologa, że struktura geologiczna badanego terenu jest taka a nie inna. Modele poszczególnych typów złóż zawierają od kilkudziesięciu do kilkuset reguł czy „potwierzeń”. System już przy końcu lat 70-tych przewidział położenie złóż molibdenu w stanie Washington.

Systemy doradcze w medycynie

Najbardziej znanym przykładem systemu doradczego jest rozwijany od bardzo wielu lat system MYCIN, służący do diagnostyki i terapii chorób zakaźnych. Podaje mu się dane bakteriologiczne, czasy pobierania próbek i inne wiadomości, których domaga się system. Na początku padają typowe pytania: nazwisko, płeć, wiek. Dalsze pytania systemu mogą wyglądać następująco:

- 4) Czy określono mikrobiologicznie rodzaj możliwej infekcji?
Tak
- 5) Jakiego rodzaju jest to infekcja?
Primary-Bacteremia

- 6) Proszę podać kiedy nastąpiły pierwsze objawy infekcji.
15-Stycz-93 11:30
- 7) Skąd pochodzą próbki pierwszej kultury bakteryjnej?
Krew
- 8) Kiedy otrzymano próbki kultury bakteryjnej z krwi?
16-Stycz-93 12:00
- 9) Pierwsza bakteria wyhodowana w tej próbce krwi będzie określana jako Organizm-1.
Zidentyfikuj organizm-1.
Nieznany.
- 10) Czy organizm-1 jest pałeczką czy ziarnkowcem?
Pałeczką
- 11) Jaki jest odczyn organizmu-1
gramonegatywny
- 12) Czy organizm-1 rozwijał się aerobowo?
tak
- 13) Czy organizm-1 rozwijał się anaerobowo?
tak

Moje zalecenia terapeutyczne będą oparte o następujące prawdopodobne infekcje spowodowane przez następujące bakterie.

INFEKcja-1 typu Primary-bacteremia

1. E. Coli (Organizm-1)
2. Pseudomonas-aeruginosa (Organizm-1)

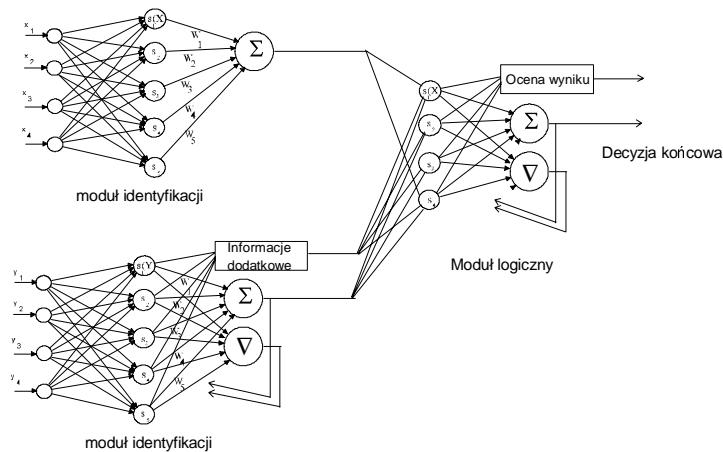
System MYCIN współpracuje z metaprogramami do modyfikacji jego bazy wiedzy. Dla potrzeb medycyny opracowano wiele systemów doradczych, ale do praktyki klinicznej wchodzi one bardzo powoli.

Matematyka

Najczęściej obecnie stosowane systemy doradcze wbudowane są w programy pozwalające na manipulację na symbolach matematycznych, nie tylko na danych numerycznych. Wiele operacji matematycznych nie da się zalgorytmizować, można się więc opierać tylko na wiedzy niepewnej, na empirycznym doświadczeniu matematyków. Języki do obliczeń symbolicznych, takie jak Maple, Mathematica czy Macsyma omówione zostały w rozdziale o językach programowania.

1.5 Sieci neuronowe

Wiele zagadnień nie nadaje się do analizy przy pomocy systemów doradczych, gdyż nie daje się znaleźć żadnych reguł postępowania. Takie zagadnienia jak rozpoznawanie



Sieć neuronowa składa się z połączonych ze sobą elementów neuropodobnych. W tym przypadku mamy sieć o budowie modularnej, składającą się z dwóch podsieci indentyfikujących sygnały x i y oraz sieci odpowiedzialnej za końcową identyfikację. Z każdym połączeniem związany jest parametr, który zmienia się w czasie uczenia się sieci.

twarzy czy ogólnie rozpoznawanie obrazów oraz kojarzenie faktów w oparciu o ich ogólne podobieństwo są dla człowieka łatwe a dla systemu doradczego bardzo trudne. Człowiek nie ma jednak w głowie niczego podobnego do komputera tylko mózg, złożony z 10 miliardów neuronów wykorzystujących do tworzenia wewnętrznej reprezentacji świata 100.000 miliardów połączeń pomiędzy neuronami.

Nawet proste modele sieci neuronowych, złożone z neuropodobnych elementów, wykazują interesujące zachowanie. Zwykle zakłada się, że neurony działają progowo, tzn. sumują dochodzące do ich ciała sygnały i jeśli całkowite pobudzenie w danym momencie przekracza pewien próg wysyłają sygnał dalej. Modele takich neuronów - elementy neuropodobne - łączą się ze sobą w sieci a siła tych połączeń jest pewnym zmiennym parametrem, pozwalającym na modyfikację zachowania się sieci.

Wyróżnia się dwa podstawowe sposoby uczenia się: bez nadzoru, polegający na samoczynnym wykrywaniu regularności w danych, oraz uczenie z nadzorem, polegające na korekcji błędnych odpowiedzi. Uczenie bez nadzoru to uczenie się samodzielne, dominujące szczególnie w pierwszych latach życia. Prowadzi ono do stosunkowo szybkiego rozwoju struktury połączeń neuronów kory mózgu utrwalając wewnętrzny obraz regularności dochodzących do nas danych zmysłowych. Efektem jest powstanie intuicji, umiejscowienie się pewnych wrażeń w relacji do innych i automatyczna klasyfikacja tych wrażeń. W późniejszym okresie życia uczenie bez nadzoru gra również ważną rolę w formowaniu się opinii, zachodzi jednak znacznie wolniej, a u niektórych osób zanika. Wiedzę w ten sposób zdobytą można w dobrym przybliżeniu określić jako

wiedzę statyczną, związaną z intuicją. Czym bowiem jest intuicja? Trudnym do zwerbalizowania procesem polegającym na „wyczuciu sytuacji”, na ocenie faktu opartej jedynie na zgromadzonej wiedzy, a więc na wewnętrznym obrazie świata. Można postawić następującą hipotezę: intuicja jest rezultatem oceny opartej na porównaniu danego faktu czy sytuacji z koncepcjami utrwalonymi w umyśle człowieka, jego przestrzeni wewnętrznej. Porównanie nie wymaga logicznego rozumowania a jedynie klasyfikacji, dokonywanej przez mózg w zupełnie nieświadomy sposób.

moduł identyfikacji

Uczenie się z nadzorem polega na bezustannej korekcji błędnych odpowiedzi przez zewnętrznego nauczyciela, którym może być człowiek, tekst książki lub program komputerowy. Z technicznego punktu widzenia uczenie się z nadzorem jest stosunkowo łatwe i polega na budowaniu przybliżonego modelu (aproksymacji) nadchodzących danych. Modele sieci neuronowych nadają się do tego, gdyż dostarczają dużej liczby zmiennych parametrów (parametrów adaptacyjnych), dzięki którym do danych można dopasować dowolną funkcję. W konkretnych zastosowaniach, do problemów technicznych i w naukach przyrodniczych, w większości przypadków lepsze rezultaty osiągnąć można stosując specjalne modele matematyczne, nie wymagające tak wielu parametrów. Zaletą sieci neuronowych uczonych z nadzorem jest jednak ich uniwersalność. W konkretnych przypadkach również możliwości uczenia się i przewidywania człowieka da się udoskonalić stosując specyficzne modele matematyczne (np. symulacje komputerowe) do opisu zjawisk.

Co można osiągnąć przy pomocy niewielkich sieci neuronowych? Większość modeli dotyczy takich zagadnień, jak rozpoznawanie wzorców, w zastosowaniu do analizy pisma ręcznego, analizy sygnału mowy czy sterowania ruchami robota i planowania jego trasy. W jednym z najlepszych amerykańskich ośrodków zajmujących się tą problematyką, Carnegie-Mellon University w Pittsburgu, testowany jest system do automatycznego sterowania samochodem, oparty na prostej sieci neuronowej. Chociaż osiąga on duże prędkości na autostradach i jeździ też po drogach polnych, to model rzeczywistości sterującej go sieci neuronowej jest jeszcze zbyt ubogi, by taki samochód dopuścić do publicznego ruchu. W nowych, zaskakujących sytuacjach, człowiek zdolny jest do analizy i zrozumienia problemu, wymaga to jednak bogatego modelu świata. Biorąc pod uwagę fakt, że wielu ludzi ma trudności z nauką jazdy samochodem pomimo posiadania w mózgu miliardy razy bardziej skomplikowanej sieci neuronów, jest rzeczą zdumiewającą, że tak prosta sztuczna sieć neuronowa dobrze sobie z tym zadaniem radzi.

Coraz częściej słyszy się również o zastosowaniach sieci neuronowych do sporządzania prognoz finansowych, przewidywania zmian kursu walut czy wartości akcji a nawet wyników zakładów wyścigów końskich. Najprostsze programy do przewidywania tendencji zmian na rynku finansowym dołącza się jako dodatki do arkuszy kalkulacyjnych. Programy, których recenzje udało mi się znaleźć nie były jednak oceniane zbyt pozytywnie ze względu na bardzo długi proces uczenia się.

Co stoi na przeszkodzie budowania dużych modeli neuronowych? Obwody scalone projektowane były z myślą o szybkości, a nie złożoności. Układ nerwowy nie pracuje zbyt szybko, charakterystyczny dla jego działania czas operacji wynosi około milisekundy, prawie milion razy więcej niż czas cyklu zegara szybkich układów półprzewodnikowych. Z drugiej strony złożoność projektowanych obwodów scalonych była do niedawna zbliżona do równoważnej im liczby tranzystorów. Najnowsze mikroprocesory mają więc około 10 milionów połączeń, a więc o czynnik rzędu 10 milionów razy mniej niż liczba połączeń w mózgu. Potrzebne są obwody wolniejsze, ale dopuszczające dużo większą liczbę wewnętrznych połączeń. International Computer Science Institute w Berkeley zapowiada na 1995 rok ukończenie superkomputera neuronowego CN1, opartego na milionie elementów przetwarzających, posiadających miliard połączeń. Chociaż do złożoności ludzkiego mózgu jeszcze mu daleko, superkomputer neuronowy powinien pozwolić w zastosowaniach związanych z klasyfikacją takich, jak rozpoznawanie mowy czy pisma ręcznego, na zmniejszenie stopnia błędów do poziomu człowieka. Powinien pozwolić również na eksperymenty z dość wyrafinowaną przestrzenią koncepcji, będącą pewną wewnętrzną reprezentacją obrazu świata. Reprezentacja taka jest z natury rzeczy subiektywna, zależna od danych, których użyjemy w procesie uczenia się. Po raz pierwszy będzie można mówić o czymś w rodzaju życia wewnętrznego komputerów.

W praktycznych zastosowaniach sieci neuronowych przodują obecnie Japonia i Stany Zjednoczone. W wielu przypadkach sieci neuronowe działają podobnie jak algorytmy znane ze statystyki matematycznej, teorii estymacji czy rachunku prawdopodobieństwa. Zaletą sieci neuronowych jest dostępność oprogramowania, które można użyć jako narzędzia do modelowania danych bez konieczności wgłębiania się w teorię.

1.6 Logika rozmyta i algorytmy ewolucyjne

Oprócz sieci neuronowych wielką karierę w dziedzinie sztucznej inteligencji, zwłaszcza na Dalekim Wschodzie, zrobiła teoria **zbiorów rozmytych** (fuzzy sets), wprowadzona w 1965 roku przez prof. Lotfi Zadeha z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley. Ze zbiorami rozmytymi związać można teorię rozmytej logiki (fuzzy logic), opierającej się na tak nieprecyzyjnych pojęciach jak „niewiele, mało, dużo, bardzo dużo”. Człowiek nie rozumie w sposób logiczny w oparciu o wyraźnie rozgraniczone pojęcia, lecz w oparciu o pojęcia niezbyt precyzyjnie zdefiniowane. Logika rozmyta jest więc bardziej dla nas naturalna i powinna umożliwić stworzenie bardziej przyjaznego oprogramowania. Do 2000 roku 90% mikrokomputerów sterujących urządzeniami gospodarstwa domowego korzystać ma z logiki rozmytej.

W pewnym sensie teoria zbiorów rozmytych i związana z nią logika rozmyta umożliwiła technice cyfrowej powrót do możliwości układów analogowych. Dziedziny matematyki związane z logiką, znajdujące zastosowania w sztucznej inteligencji, rozwijają się bardzo

intensywnie. Oprócz logiki rozmytej stosuje się logikę ciągłą i wiele innych logik nieklasycznych. Szczególnie interesująca jest rozwinięta przez polskich matematyków teoria zbiorów przybliżonych.

Algorytmy genetyczne inspirowane są przez teorię ewolucji. Poszukując optymalnych rozwiązań generuje się rozwiązania przypadkowe, sprawdza na ile dobrze działają i dokonuje mutacji oraz krzyżowania celem wyhodowania najlepszych rozwiązań. Są to więc przede wszystkim algorytmy optymalizacji. Jako przykład zastosowania takich algorytmów podać można sztukę genetyczną. Podobnie jak piękne obrazki fraktalne obrazy genetyczne generowane są przy pomocy formuł matematycznych. Podstawą tworzenia tych obrazów jest informacja zawarta w sztucznych genach. Dokonując mutacji takiej informacji można tworzyć nowe obrazy. W jaki jednak sposób określić, które z nich są piękniejsze? Jak nadać kierunek ewolucji obrazów? Jest to całkiem proste: tworzymy na początek 10 obrazów dokonując przypadkowych mutacji i zapraszamy grupę ludzi do głosowania, które z obrazów najbardziej im się podobają. Następnie wybieramy trzy obrazy najwyżej ocenione i mieszamy odpowiadające im geny tworząc kolejnych 10 obrazów. Po kilku takich cyklach (lub kilkuset, jeśli wystawimy obrazki do oceny w Internecie) powstają naprawdę ciekawe obrazy i filmy pokazujące kolejne generacje. Rezultaty obejrzyć można pod adresem http://www.yahoo.com/Arts/Computer_Generated/Genetic_Art/

Sieci neuronowe, logika rozmyta i algorytmy genetyczne określa się czasem mianem „soft computing”, czyli „miękkiego obliczania”. W odróżnieniu od tradycyjnego obliczania dokładność nie jest tu ważna a obliczenia mogą odbywać się w sposób analogowy, np. przy pomocy technik optycznych. Warto również wspomnieć o nowej dziedzinie nauki, określanej mianem „artificial life”, czyli sztuczne życie. Korzystając z „miękkiego obliczania” zmierza ona do stworzenia symulacji komputerowych istot zachowujących się podobnie jak żywe organizmy.

1.7 Wielkie projekty w dziedzinie sztucznej inteligencji

Najsilniejsze ośrodki naukowe zajmujące się sztuczną inteligencją są w Stanach Zjednoczonych. Ośrodki uniwersyteckie nie mają zwykle dostatecznych funduszy by prowadzić naprawdę duże, ambitne projekty zakrojone na wiele lat. Stać na to jedynie takie firmy jak IBM, który wydał w połowie lat 80-tych aż pięć miliardów dolarów na badania naukowe. Początkowo jednak firmy przemysłowe trzymały się z dala od metod sztucznej inteligencji uznając to za temat badawczy, który nie przyniesie szybkich zysków. Dopiero rozwój komercyjnych systemów doradczych w latach 80-tych zainteresował firmy przemysłowe i rządy wielu krajów, dostrzegające w tej dziedzinie potencjalne zagrożenie ekonomiczne. Powstały duże projekty japońskie i europejskie.

Amerykanie mają problemy prawne z koordynacją zadań pomiędzy dużymi firmami ze względu na ustawę antytrustową, trudno jest więc im konkurować z Japończykami. Rząd USA finansował większość projektów dotyczących sztucznej inteligencji przez agencję **ARPA** (Advanced Research Projects Agency, agencję do zaawansowanych projektów badawczych), która podlega Ministerstwu Obrony. Programy wojskowe zainteresowane były głównie budową automatycznych czołgów.

Strategic Computing Plan, na który przeznaczono 600 milionów dolarów, od 1984 roku był zakrojonym na 5 lat programem związanym z rozwojem superkomputerów. W 1983 powołano w Austin w Teksasie istniejącą do dziś organizację **MCC** (Microelectronic and Computer Technology Corporation), w której uczestniczy większość dużych firm zajmujących się mikroelektroniką i komputerami. Organizacja ta zajmuje się nie tylko sztuczną inteligencją ale i CAD/CAM, superkomputerami, obwodami scalonymi, oprogramowaniem narzędziowym. W 1991 roku Amerykanie rozpoczęli finansowaną przez rząd „inicjatywę superkomputerową” (supercomputing initiative), chcąc obronić się przed Japończykami, robiącymi obecnie najszybsze procesory do superkomputerów. Jej naczelnym hasłem jest budowa superkomputerów o szybkościach działania rzędu bilionów operacji na sekundę (teraflop computer) i sieci komputerowych o szybkościach przesyłania danych rzędu miliardów bitów (gigabit networks). Jednakże jedyną dużą organizacją sponsorującą projekty w zakresie sztucznej inteligencji pozostaje MCC.

Wspólnym projektem krajów Unii Europejskiej jest program o nazwie **ESPRIT** - European Strategic Program for Resources in Information Technology, czyli Europejski Program Strategiczny Technologii Informatycznej. Program ten dotyczy mikroelektroniki, robotyki, sztucznej inteligencji, oprogramowania i dziedzin pokrewnych. Z założenia miał to być program 5-cioletni (rozpoczęty w 1983 roku), z centrum w Bawarii, ale jego sukces spowodował przedłużenie projektów na kolejne okresy. Biorą w nim udział duże firmy europejskie.

1.7.1 Projekt CYC

MCC finansuje od 1984 roku jeden z największych projektów dotyczących sztucznej inteligencji w historii ludzkości. Jest nim budowa systemu doradczego opartego na regułach zawartych w bazie wiedzy, znanego pod akronimem **CYC** (nazwa jest fragmentem słowa enCYClopedia). Celem jest stworzenie oprogramowania posiadającego tak szeroką wiedzę, by można ją uznać za „zdrowy rozsądek”. Douglas Lenat, kierownik tego projektu, ocenia liczbę potrzebnych reguł w takim systemie na około 100 milionów! Według niego w programach AI brakuje przede wszystkim dostatecznie szerokiej bazy wiedzy. Systemy doradcze pokazały, że nawet niewielka baza wiedzy, rzędu 100-1000 reguł w jakiejś wąskiej dziedzinie, prowadzić może do interesujących rezultatów. Jednakże programy takie są mało odporne nawet na niewielkie odstępstwa od ścisłości sformułowań przy zadawaniu pytań. Niespodziewane sytuacje

łatwo załamują systemy doradcze. Ludzie nie dają się tak łatwo zbić z tropu. Dlaczego? Ponieważ mogą odpowiadać na wiele różnych sposobów, mogą „wyjść z sytuacji”. Porządna baza wiedzy powinna zawierać nie tylko ogólne fakty i heurystyki, ale i wiele specyficznej wiedzy z różnych dziedzin. Powinna zawierać informację o nastawieniach różnych ludzi i ich światopoglądzie, różne sposoby patrzenia na rzeczy, mikroteorie zależne od kontekstu.

Do końca 1990 roku system CYC zawierał około 2 milionów reguł. Jest to pierwszy projekt na tak wielką skalę. Na początku wydawał się bardzo ryzykowny a jego szansę powodzenia oceniano jedynie na 5% - czy taki system będzie działał stabilnie, czy się na coś przyda? Tymczasem baza wiedzy tego projektu jest coraz bardziej w cenie i już w 1990 roku oceniano szansę powodzenia projektu na 60%. Stworzenie tak dużej bazy wiedzy pozwoliło w pewnym momencie przekroczyć barierę gromadzenia nowej wiedzy, którą jest konieczność „ręcznego” wprowadzanie wiedzy. Zastosowano metody bardziej automatyczne, w których system analizy języka naturalnego oparty na już zbudowanej bazie wiedzy sam może wydobywać z tekstu fakty, których jeszcze nie zna.

Użyty w tym projekcie język reprezentacji wiedzy CycL, rozwijał się stopniowo wraz z samą bazą wiedzy. Wprowadzanie nowych pojęć od czasu do czasu prowadzi do czasu prowadzi do konieczności rozszerzenia tego języka, jeśli trudno jest w nim coś wyrazić. Po dłuższym okresie czasu okazało się, że język w znacznej mierze się ustabilizował i nie pojawiały się już nowe pojęcia wymagające jego modyfikacji. Mechanizmy wnioskowania również rozwijały się krok po kroku. W końcu otrzymano szereg specyficznych mechanizmów wnioskowania, zależnych od dziedziny. Tradycyjne podejście poszukiwało jakiegoś uniwersalnego algorytmu rozwiązywania wszystkich problemów. Wnioskowanie wiąże się z tworzeniem mikroteorii, czyli opisu posługiwania się takimi rzeczami jak pieniądze, robienie zakupów, prowadzenia pojazdu itp. By stwierdzić, czy system CYC rozumie już dostatecznie dobrze daną dziedzinę, daje mu się do analizy teksty i zadaje pytania, na które każdy człowiek powinien umieć odpowiedzieć.

Pierwsze ponad milion reguł w systemie CYC odnosiło się nie tyle do szczegółowych faktów co do spraw ogólnych, klasyfikacji, ograniczeń, takich pojęć jak czas, przestrzeń, substancja. Pojęcia takie trudno jest reprezentować w bazie wiedzy - rozwiązanie w tym systemie polega na opisie lub relacjach, które sprawdzają się bardzo dobrze w najczęstszych przypadkach użycia danej koncepcji i które dobrze działają również w dość często spotykanych sytuacjach. Zamiast próbować zredukować, znaleźć minimalną liczbę sposobów oddziaływania podmiotów i przedmiotów, próbuje się opisać wszystkie sytuacje. CYC jest pierwszym programem w którym dyskutuje się zagadnienia globalnej ontologii czyli klasyfikacji bytów. Na najwyższym poziomie ma on koncepcję *Rzeczy*.

Autorzy projektu mają nadzieję, że system CYC stanie się podstawą prawdziwie inteligentnych systemów doradczych przyszłości. Nikt na początku przyszłego wieku nie będzie chciał używać komputera nie wyposażonego w zdrowy rozsądek, tak jak nikt nie

chce dzisiaj kupić komputera, na którym nie mógłby używać edytora tekstu, chociaż do niedawna wystarczyło, by komputer wykonywał obliczenia.

Można się spodziewać w najbliższych latach zastosowań tego systemu do poszukiwania informacji w bazach wiedzy i w bazach tekstowych. Powstał już system analizy języka naturalnego oparty o CYC. Przykładowe deklaracje wiedzy dla systemu CYC na temat robienia zakupów wyglądają następująco:

1. Pieniądze daje się w zamian za towary, rzeczy, usługi lub jako dar.
2. Każdy czynnik jest związany z pewną sumą pieniędzy.
3. Opłaty do 10\$ dokonywane są zwykle gotówką, powyżej 50\$ czekiem lub kartą kredytową.
-
17. Kiedy coś kupujesz jednym z podzdarzeń jest płacenie sprzedawcy lub w kasie.

1.7.2 Komputery Piątej Generacji

Drugi wielki projekt w dziedzinie sztucznej inteligencji podjęto w Japonii. Ministerstwo Handlu i Przemysłu (MITI) ogłosiło w czerwcu 1982 roku program budowy **Knowledge Information Processing Systems (KIPS)**, czyli program budowy systemów przetwarzania wiedzy. W celu realizacji tego programu utworzono Instytut Nowej Generacji Technologii Komputerowej (*ICOT, Institute for New Generation of Computer Technology*), z budżetem rządu miliarda dolarów na okres 10 lat. Dyrektorem tego programu został profesor Kazuhiro Fukui, zatrudniono w nim około 40 młodych specjalistów z różnych japońskich firm komputerowych. Poprzednie programy, które zainicjowało MITI, dotyczyły budowy superkomputerów i były bardzo udane. Pozwoliły one japończykom w dziedzinie konstrukcji superszybkich komputerów wysunąć się nawet przed najlepsze firmy amerykańskie, dominujące w tej dziedzinie.

Celem budowy komputerów piątej generacji było zbudowanie maszyn wykonujących 0.1 do 1 miliardów LIPS (**L**ogical **I**nferences **P**er **S**econd, czyli logicznych wniosków na sekundę). Oprogramowanie tych systemów oparto na języku programowania logicznego Prolog (*Programming in Logic*). Za cel postawiono sobie tłumaczenie maszynowe w oparciu o słownik rządu 100.000 słów z japońskiego na angielski z dokładnością rzędu 90%, rozumienie ciągłej mowy w zakresie 50.000 słów z dokładnością 95%, dialog z komputerem w języku naturalnym, stworzenie systemów doradczych korzystających z baz wiedzy rzędu 10.000 reguł. Jednocześnie w ramach programu „Pattern Information Processing National Systems” (**PIPS**), czyli budowy systemów przetwarzania obrazów, zmierzano do możliwości analizy obrazów dla baz danych rzędu 100.000 obrazów. Program połączony był również z Narodowym Programem Robotyki (*Robotic National Program*), wymagającym również analizy obrazów na wielką skalę. W latach 90-tych

KIPS miały być „centralnym narzędziem we wszystkich dziedzinach społecznej działalności, włączając w to ekonomię, przemysł, kulturę, życie codzienne”.

Program przedłużono o dwa lata i zakończono oficjalnie w grudniu 1994 roku. Choć przyniósł szereg ciekawych rezultatów, przyczyniając się do rozwoju metod programowania opartych na logice matematycznej, trudno uznać go za wielki sukces. Wiele z jego założeń nie zostało zrealizowanych, niektóre istnieją tylko w fazie eksperymentalnej. Nie ma wątpliwości, że cele powoli zostaną osiągnięte, być może jednak skupienie się na podejściu symbolicznym, oparcie na Prologu i logice, nie pozwala na osiągnięcie tak ambitnych zmierzeń. Zrezygnowano z pierwotnych, ambitnych zamierzeń programu, nikt o nich nawet na konferencji końcowej nie wspominał. Obecne cele projektu nie rozpalają już wyobraźni milionów z naukowego punktu widzenia są jednak bardzo ciekawe i bardziej konkretne. W ostatnich dwóch latach swojego istnienia ICOT skupił się na rozpowszechnianiu rezultatów uzyskanych w ramach projektu piątej generacji - jest to ponad tysiąc prac naukowych i prawie sto systemów oprogramowania, dostępnych za darmo przez sieć komputerową lub na CD-ROMie rozpowszechnianym przez ICOT. Podjęto duży wysiłek przeniesienia oprogramowania z nietypowego sprzętu komputerowego, częściowo zbudowanego w ramach projektu piątej generacji, na typowe stacje robocze pracujące w systemie Unix. Bardzo rozwinięto systemy równoległego i rozproszonego przetwarzania wiedzy oraz systemy równoległego wnioskowania (PIM, Parallel Inference Machines). Systemy takie znajdują zastosowanie przy konstrukcji rozproszonych baz danych.

Z osiągnięć projektu piątej generacji prezentowanych szczegółowo w czasie konferencji końcowej projektu warto wymienić:

- 1) Obiektowo zorientowane języki do reprezentacji wiedzy: KL1, KLIC i QUIXOTE, pozwalające na opis skomplikowanych fragmentów wiedzy, np. dotyczących reakcji biologicznych czy zagadnień prawnych. System KLIC działa na stacjach roboczych i komputerach równoległych tworząc z opisu wiedzy w języku KL1 program w języku C.
- 2) MGTP, program do dowodzenia twierdzeń działający na wieloprocesorowych komputerach w środowisku PIMOS (Parallel Inference Machine Operating System). Jest to jeden z najciekawszych rezultatów projektu piątej generacji, gdyż przy jego pomocy udało się rozwiązać pewne zagadnienia matematyczne (udowodnić istnienie pewnych kwazigrup). Ponieważ komputerowe dowodzenie twierdzeń matematycznych jest bardzo trudne i wielu matematyków ma wątpliwości, czy jest to w ogóle możliwe, osiągnięcie interesujących rezultatów w tym zakresie wzbudziło znaczne zainteresowanie na świecie. System MGTP korzysta z logiki pierwszego rzędu i na maszynie o 256 procesorach działa 200 razy szybciej niż na pojedynczym procesorze.
- 3) Bardzo interesujące rezultaty osiągnięto w genetyce i biologii molekularnej. Systemy przetwarzania wiedzy stają się niezbędnym narzędziem w projekcie mapowania ludzkiego genomu. Na konferencję przyjechało kilku amerykańskich naukowców określających się jako „biolodzy komputerowi”, specjalnie na sesję poświęconą systemom

reprezentacji wiedzy w genetyce. Metody stosowane w tej dziedzinie nie mają jednak wiele wspólnego z klasycznymi metodami sztucznej inteligencji a raczej bazują na postęпах w teorii optymalizacji, algorytmach genetycznych, teorii gramatyk formalnych i teorii kompilacji.

4) Za najbardziej inteligentne oprogramowanie stworzone w ramach projektu piątej generacji uznano system Helic-II przeznaczony dla symulacji rozważań prawników, dyskusji między prokuratorem i adwokatem, interpretacji przepisów prawnych, intencji oskarżonych i symulacji rozumowania sędziego.

5) Z praktycznego punktu widzenia bardzo ważne są zagadnienia dużych, rozproszonych baz danych multimedialnych, poszukiwanie informacji w takich bazach danych i próba organizacji wiedzy w nich zawartej.

6) Przedstawiono również ciekawe rezultaty dotyczące komputerowo wspomaganego projektowania (CAD) z wykorzystywaniem wnioskowania logicznego na masowo równoległych komputerach.

W 1992 roku zainaugurowano inny, przewidziany na 10 lat projekt japoński: **RWCP**, Real World Computing Partnership. Jego celem jest stworzenie systemów przetwarzania informacji przydatnych w trudnych zagadnieniach praktycznych. Z pięciu centralnych tematów badawczych projektu RWCP, jedynie projekty masowego przetwarzania równoległego nawiązują bezpośrednio do projektu komputerów piątej generacji, częściowo wiąże się z nim również integracja symbolicznego i neuronalnego przetwarzania informacji. Nowym tematem są komputery optyczne. Pozostałe tematy badawcze wiążą się bardziej z badaniem funkcji poznawczych mózgu, modelowaniem sieci neuronowych i reprezentacją informacji źle lub nieprecyzyjnie określonej, niż z podejściem logicznym. Do osiągnięcia prawdziwej inteligencji potrzebne okazało się bardziej intuicyjne podejście, wykorzystujące możliwości uczenia się systemów zdolnych do adaptacji i to właśnie jest celem RWCP.

Literatura

Niestety, w języku polskim ukazało się dotychczas niewiele pozycji z dziedziny sztucznej inteligencji. W dalszym ciągu mamy nadmiar krytyków i filozofów a niedomiar entuzjastów.

J. Chromiec, E. Strzemieczna, *Sztuczna inteligencja. Podstawowe metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*. (Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1994)

E. Chwiałkowska, *Sztuczna Inteligencja w Systemach Eksperckich* (MIKOM 1991)

Thro Ellen, *Sztuczne życie, zestaw narzędzi badacza* (SAMS Publishing, 1994)

Hertz J, Krogh A, Palmer R.G, *Wstęp do teorii obliczeń neuronowych* (WNT, Warszawa 1993)

- Z. Hippe, *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w chemii* (PWN, Warszawa 1993)
- Kacprzak T, Ślot K, *Sieci neuronowe komórkowe. Teoria, projekty, zastosowanie.*
(Wydawnictwo Naukowe PWN, W-wa-Łódź 1995)
- Korbicz J, Obuchowicz A, Uciński D, *Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i zastosowania.* (Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1994)
- Roetzheim H.W. *Laboratorium złożoności* (Intersofland, Warszawa 1994)
- Tadeusiewicz R, *Sieci neuronowe* (Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993)