

MODELOWANIE ROZMYTE

SZTUCZNA INTELIGENCJA

Dr hab. inż. Grzegorz Dudek
Wydział Elektryczny
Politechnika Częstochowska

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 020/RID/2018/19 kwota finansowania 12 000 000 PLN

Literatura podstawowa:

- Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
- Rutkowska D., Pilinski M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. PWN 1997.
- Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN 2020.

Literatura uzupełniająca:

- Łęski J.: Systemy neuronowo-rozmyte. WNT 2008.
- Ross T.: Fuzzy logic with engineering applications. Wiley 2010.
- Chen G., Pham T.T.: Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems. CRC Press 2001.
- Yager R., Filev D.: Podstawy modelowania i sterowania rozmytego. WNT 1995.
- Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M.: Wprowadzenie do sterowania rozmytego. WNT 1996.

W odniesieniu do człowieka inteligencja jest zdolnością do (poprawnego, sprawnego itd.) rozwiązywania zadań intelektualnych, które zazwyczaj uchodzą za trudne.

Poważnym mankamentem tej definicji jest brak jasnych kryteriów, według których zadania należałoby kwalifikować jako „intelektualne”. Chodzi o zadania wymagające wyłącznie lub przede wszystkim aktywności umysłowej.

Mówiąc o sztucznej inteligencji rozszerzamy pojęcie inteligencji na systemy sztuczne – programy komputerowe. Chcemy zatem uznać za „inteligentne” takie programy, które są w stanie z zadowalającą sprawnością rozwiązywać trudne zadania. Ponieważ w naturalny sposób celem konstruowania takich programów jest umożliwienie zautomatyzowania pewnych czynności wykonywanych przez ludzi, interesować nas będzie **sprawne rozwiązywanie zadań, które według powszechnej opinii wymagają inteligencji, jeśli są wykonywane przez człowieka.**

Sztuczna inteligencja (SI), ang. Artificial Intelligence (AI), dział informatyki, którego przedmiotem badań są reguły rządzące inteligentnymi zachowaniami człowieka (np. postrzeganiem, uczeniem się), tworzenie modeli formalnych tych zachowań i symulującego je oprogramowania (t.j. systemów, które przejawiają własności, które wiążemy z inteligencją w zachowaniu ludzkim).

Próby bardziej precyzyjnego formułowania definicji systemów inteligentnych prowadzą do kilku różnych koncepcji sztucznej inteligencji. Można je opisać podając kryteria, jakie według nich spełnia sztuczny system inteligentny. Może to być:

- system, który myśli jak człowiek,
- system, który myśli racjonalnie,
- system, który zachowuje się jak człowiek,
- system, który zachowuje się racjonalnie.

W większości zastosowań systemów inteligentnych chodzi raczej o zachowanie racjonalne (a więc jak najlepsze wykonanie stojącego przed systemem zadania) niż naśladowanie człowieka, w którego zachowaniu mogą występować motywacje pozaracjonalne. Wobec tego będziemy się raczej koncentrować na różnych rodzajach „zachowania racjonalnego”, które mogą być poddane automatyzacji, tj. dla których można sformułować algorytm o praktycznie akceptowalnej złożoności obliczeniowej.

Termin „sztuczna inteligencja” łączy się z wieloma kontrowersjami, nieporozumieniami i mitami, które częściowo wynikają z jego zbyt dosłownego interpretowania. Znaczna część prac dotyczących sztucznej inteligencji dotyczy konstruowania systemów przejawiających wybrane, szczególne aspekty inteligentnego zachowania, a wyniki tych prac od wielu lat znajdują praktyczne zastosowania w formie dojrzałych technicznie rozwiązań. Osiągnięcia tego nurtu badań są niepodważalne i nie budzą kontrowersji, choć w potocznym rozumieniu niekoniecznie są one wiązane ze sztuczną inteligencją.

"MOCNA" I "SŁABA" SZTUCZNA INTELIGENCJA

Określenie „**słaba**” nie ma tu charakteru lekceważącego czy deprecjonującego, lecz wyraża raczej skromne i pragmatyczne cele:

rozwiązywanie „trudnych” zadań w sposób umożliwiający praktyczne zastosowania.

Zadania te reprezentują tylko niektóre wybrane aspekty „zachowania inteligentnego”, które mogą w znacznej mierze być rozwiązywane niezależnie. Systemy inteligentne z punktu widzenia „słabej” sztucznej inteligencji to systemy rozwiązujące takie zadania i wykorzystujące w tym celu odpowiednie inteligentne techniki obliczeniowe.

Dla odmiany „**mocna**” sztuczna inteligencja stawia sobie ambitne cele konstruowania systemów inteligentnych, którym można by przypisać zdolność do myślenia w sposób w pewnym stopniu dający się porównywać z myśleniem ludzkim.

Sztuczna inteligencja w „słabym” rozumieniu może być traktowana jako gałąź informatyki, kierująca się zasadniczo tymi samymi zasadami i praktykami badawczymi co jej główny nurt, lecz wyróżniona przez rodzaje zadań, których rozwiązywaniem się zajmuje. Jednocześnie te zadania zbliżają ją do szeregu innych pokrewnych dyscyplin, takich jak automatyczne sterowanie, robotyka czy statystyka. Ważnymi źródłami inspiracji dla inteligentnych technik obliczeniowych są niektóre osiągnięcia nauk nietechnicznych, takich jak biologia i psychologia.

Ograniczając się do sztucznej inteligencji w jej technicznym, a więc „słabym” sensie, dokonamy teraz ogólnego przeglądu najważniejszych rodzajów zadań, które są przedmiotem jej zainteresowania.

ZADANIA SI – PRZESZUKIWANIE

Wiele zadań praktycznych, dla których należy znaleźć rozwiązania spełniające pewne ustalone kryteria i ograniczenia, można potraktować jako konkretne przypadki ogólnego zadania przeszukiwania. Przeszukiwana przestrzeń obejmuje potencjalne rozwiązania zadania (także niekompletne, nie spełniające ograniczeń, niskiej jakości) i w interesujących praktycznie przypadkach jest zbyt duża, aby przy użyciu maksymalnych dostępnych obecnie i w wyobrażalnej przyszłości mocy obliczeniowych rozważyć każde jej elementy mogło być przeprowadzone w akceptowalnym czasie. Inteligentne techniki obliczeniowe opracowywane do przeszukiwania mają na celu

znajdowanie zadowalających rozwiązań bez pełnego przeglądania wszystkich możliwości, a więc dokonanie niewyczerpującego przeszukiwania przestrzeni rozwiązań.

Zadanie przeszukiwania przestrzeni formułuje się określając zbiór stanów, z wyróżnionym stanem początkowym (od którego rozpoczyna się przeszukiwanie) i zbiorem stanów końcowych (których osiągnięcie kończy przeszukiwanie), oraz zbiór operatorów dostępnych w każdym stanie. Zastosowanie operatora w stanie powoduje przejście do (zazwyczaj) innego stanu (często mówi się, że generuje nowy stan).

ZADANIA SI – PRZESZUKIWANIE

Stan początkowy reprezentuje sytuację, od której rozpoczyna się przeszukiwanie. Stany niekońcowe reprezentują pośrednie etapy procesu przeszukiwania (rozwiązania niepoprawne, niekompletne itp.). Operatory pozwalają na poruszanie się w przestrzeni stanów. Przeszukiwanie przestrzeni jest więc

procesem stosowania dostępnych operatorów do przemieszczania się między różnymi stanami w tej przestrzeni, tak aby ostatecznie trafić ze stanu początkowego do jednego ze stanów końcowych.

Wynikiem przeszukiwania jest ciąg operatorów, których zastosowanie przeprowadza nas ze stanu początkowego do stanu końcowego. Jest to więc nie tyle samo rozwiązanie zadania, co raczej sposób jego rozwiązania. W niektórych zadaniach zadowala nas dowolne rozwiązanie, a więc osiągnięcie jakiegokolwiek stanu końcowego w jakikolwiek sposób. Niekiedy poszczególne stany końcowe reprezentują rozwiązania o niejednakowej jakości i wówczas zależy nam na znalezieniu w miarę możliwości jak najlepszego. Niekiedy wreszcie ważne jest, aby sposób dochodzenia do rozwiązania był jak najprostszy. Rozważa się wtedy funkcję kosztu, która określa koszt zastosowania każdego operatora w każdym stanie (w najprostszym przypadku zawsze jednakowy). Poszukiwany jest taki ciąg operatorów prowadzący do stanu końcowego, który ma minimalny łączny koszt.

ZADANIA SI – WNIOSKOWANIE

Wnioskowanie jest procesem przetwarzania wiedzy, w wyniku którego na podstawie pewnego zbioru znanych stwierdzeń wyprowadza się nowe stwierdzenia. Wnioskowanie wykonywane przez człowieka może przebiegać zarówno w sposób formalny, w którym wszystkie stwierdzenia zapisane są w ustalonym precyzyjnym języku, wyprowadzanie nowych stwierdzeń rządzi się ustalonymi precyzyjnie regułami, jak i nieformalny, w którym stwierdzenia formułowane są w języku naturalnym, a wyprowadzanie nowych stwierdzeń odbywa się ze znacznym udziałem intuicji. Rozważając inteligentne techniki obliczeniowe do wnioskowania koncentrować się będziemy na wnioskowaniu formalnym. Wymaga ono języka zapisu stwierdzeń o dokładnie zdefiniowanej składni i semantyce (znaczeniu) oraz mechanizmu wnioskowania opartego na precyzyjnych i jednoznacznych regułach, które określają, jak na podstawie pewnego zbioru znanych stwierdzeń uzyskać nowe stwierdzenie. Reguły takie są nazywane regułami wnioskowania. Wówczas wnioskowanie jest

procesem stosowania reguł wnioskowania w sposób skutecznie i efektywnie prowadzący do określonego celu wnioskowania, którym zazwyczaj jest uzyskanie pewnego docelowego stwierdzenia.

Stwierdzenia zapisane formalnie w języku logiki będziemy nazywać formułami, a zbiór formuł znanych w procesie wnioskowania - bazą wiedzy. Ciąg wykorzystanych formuł (i zastosowanych do nich reguł wnioskowania) prowadzący do formuły docelowej nazywany jest dowodem. Zastosowanie pojedynczej reguły wnioskowania jest krokiem dowodu.

ZADANIA SI – UCZENIE SIĘ

Zdolność do uczenia się jest powszechnie uważana za jeden z najważniejszych przejawów inteligencji. Przez uczenie się rozumiemy, w najprostszym ujęciu, zdobywanie wiedzy lub umiejętności (a także doskonalenie dotychczas posiadanej wiedzy lub umiejętności), na podstawie wspomagających informacji, takich jak doświadczenia czy przykłady. Rozważając sztuczne systemy uczące się będziemy przez uczenie się rozumieć

proces zmiany zachodzącej w systemie na podstawie doświadczeń, która prowadzi do poprawy jego jakości działania rozumianej jako sprawność rozwiązywania stojących przed systemem zadań.

Wynik procesu uczenia się, czyli zdobytą wiedzę, nazywać będziemy **hipotezą**. Zewnętrzną informację, na podstawie której następuje uczenie się, nazywać będziemy **informacją trenującą**.

Układanie planu lekcji. Zadanie to polega na wygenerowaniu pewnej czteroargumentowej relacji określonej na zbiorze nauczycieli, grup, sal i godzin zajęciowych, do której należą wszystkie takie i tylko takie czwórki (n, g, s, t) , że nauczyciel n prowadzi zajęcia z grupą g w sali s i w terminie t . Trudność zadania wynika z konieczności jednoczesnego spełnienia szeregu ograniczeń:

- brak konfliktów jednoczesnych różnych zajęć tego samego nauczyciela, tej samej grupy, w tej samej sali,
- dokładnie określona liczba godzin zajęć określonego nauczyciela z określoną grupą,
- brak „okienek” dla grup,

a w praktyce także szereg innych ograniczeń związanych ze specyfiką procesu dydaktycznego, a także osiągnięcia rozwiązania możliwie wysokiej jakości ze względu na jedno lub więcej kryteriów (np. minimalna liczba „okienek” dla nauczycieli, małe zróżnicowanie dziennej liczby godzin zajęciowych każdej grupy w tygodniu itp.).

Dowodzenie twierdzeń. W zadaniu tym wymagamy generowania dowodów dla twierdzeń, sformułowanych w pewnym ustalonym sformalizowanym języku (języku logiki), dotyczących pewnej ustalonej dziedziny. Mogą to być twierdzenia z wybranego działu matematyki (np. geometria, teoria liczb).

PRZYKŁADY ZADAŃ SI

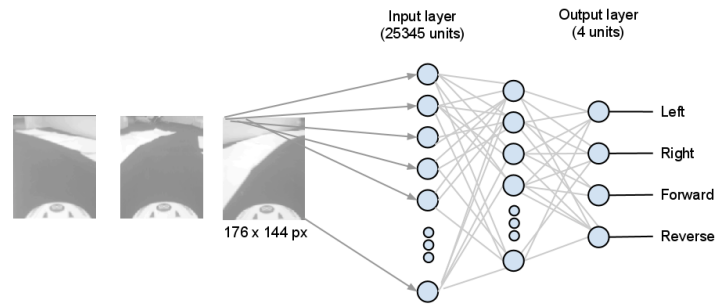
Gra w szachy. Szachy są najbardziej znanym przykładem gry, która jest wystarczająco trudna, aby mistrzostwo w niej było uważane za niekwestionowany przejaw wybitnej inteligencji. Zadanie wybierania ruchów w partii gry dwuosobowej należy do kanonu tradycyjnych zadań sztucznej inteligencji. Sukcesy, jakie udaje się osiągać najbardziej wyrafinowanym programom w nietrywialnych grach (np. zbliżenie się do poziomu gry mistrzów szachowych) są bez wątpienia przykładem udanego rozwiązania „intelektualnego” zadania niezwykle trudnego dla większości ludzi.

Diagnostyka medyczna. Lekarz stawiając diagnozę na temat jednostki chorobowej lub zalecając terapię na podstawie wyników badań diagnostycznych opiera się swojej wiedzy, która w znacznym stopniu wywodzi się z doświadczenia. Zadanie wyprowadzenia z wielu różnorodnych jednostkowych przypadków ogólnych i w znacznym stopniu niezawodnych reguł decyzyjnych jest bez wątpienia trudne. Jeśli przyjmiemy, że dostępny jest zbiór danych wielu przypadków pacjentów, dla których zapisane zostały wyniki badań oraz zweryfikowana diagnoza bądź terapia wraz z oceną jej faktycznej skuteczności, to można postawić zadanie automatycznego wygenerowania na podstawie takich danych wiedzy (np. zapisanej w postaci reguł). Wiedza taka mogłaby być używana przez prosty system wnioskujący do wspomagania lekarza w diagnozowaniu (uzupełniając w ten sposób jego własną wiedzę).

PRZYKŁADY ZADAŃ SI

Sterowanie mobilnym robotem. Weźmy pod uwagę robota wyposażonego w pewną aparaturę do obserwacji otoczenia (np. czujniki podczerwieni, ultradźwięków, kamera) oraz układ motoryczny do poruszania się (np. kółka napędzane silnikami). Przed takim robotem można stawiać szereg szczegółowych zadań, wymagających od niego w szczególności umiejętności znajdowania drogi w środowisku: przemieszczania się między pewnymi położeniami w możliwie krótkim czasie, z ominięciem wszelkich przeszkód, takich jak ściany, meble, ludzie czy inne roboty. Wymaga to podejmowania w czasie rzeczywistym decyzji o kolejnych ruchach (kierunku jazdy, utrzymaniu lub zmianie prędkości) na podstawie aktualnych obserwacji z czujników albo kamery.

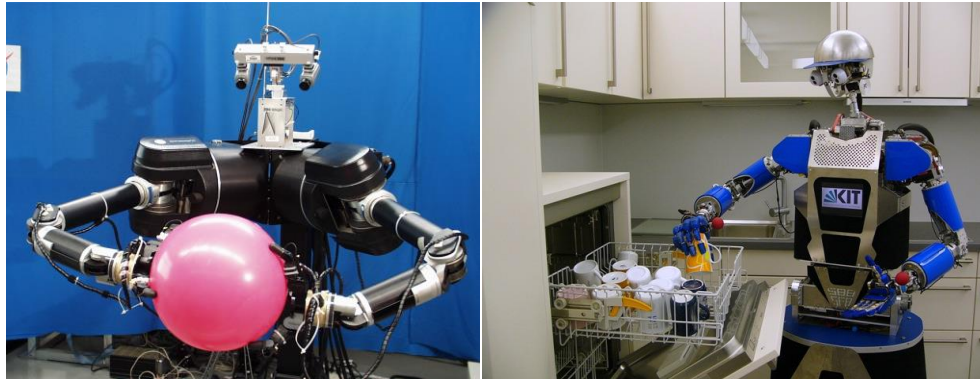
How I built a neural network controlled self-driving (RC) car! (<http://blog.davidsingleton.org/nnrccar/>)



PRZYKŁADY ZADAŃ SI

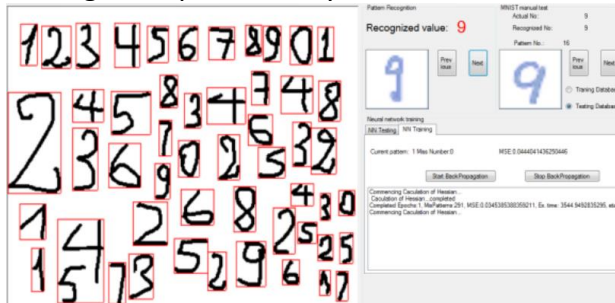
Przetwarzanie języka naturalnego. Tłumaczenia. Streszczenia. Interfejs z komputerem (chatboty). Programowanie w języku naturalnym. W różnych zadaniach przetwarzania języka naturalnego występuje takie samo zadanie ogólne: zamiana wypowiedzi słownej na opis w języku formalnym.

Robotyka. Mogą tu być wykorzystywane wszystkie powyżej wymienione zastosowania. Przykład: automatyczne prowadzenie pojazdu terenowego, robot kroczący, rozpoznający obrazy i porozumiewający się w języku naturalnym.

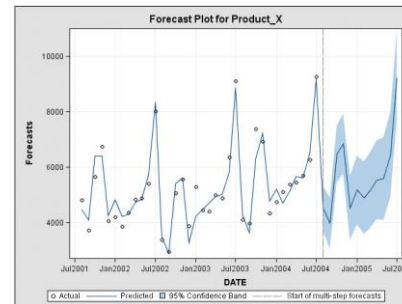
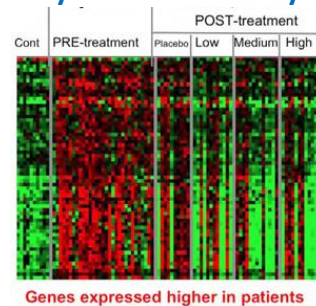


PRZYKŁADY ZADAŃ SI

Rozpoznawanie obrazów. Rozpoznawanie obrazów graficznych, Rozpoznawanie pisma drukowanego (OCR) i ręcznego, rozpoznawanie dźwięków. Diagnostyka: medyczna i urządzeń. Przykład: odczytywanie numerów rejestracyjnych samochodów z obrazów scen ulicznych. Analiza scen – zamiana obrazu graficznego na opis formalny.



Wydobywanie wiedzy z danych doświadczalnych.



ROZWIĄZYWANIE ZADAŃ JAKO PRZESZUKIWANIE

Scharakteryzowane wyżej zadania SI, a także ich liczne możliwe konkretyzacje, można do pewnego stopnia traktować w ujednolicony sposób, jako pewne szczególne odmiany pierwszego najbardziej ogólnego zadania przeszukiwania.

Wnioskowanie traktowalibyśmy jako przeszukiwanie przestrzeni możliwych sekwencji kroków wnioskowania w poszukiwaniu dowodu stwierdzenia docelowego.

Uczenie się można rozumieć jako przeszukiwanie przestrzeni możliwych hipotez w poszukiwaniu tej, która najlepiej odpowiada celom systemu i uzyskanej przez niego informacji trenującej.

Planowanie może być traktowane jako przeszukiwanie przestrzeni możliwych planów w poszukiwaniu takiego, który osiąga cel zadania.

Aby naszkicowana w tak ogólny sposób wspólna perspektywa patrzenia na różne zadania była faktycznie użyteczna przy ich rozważaniu, musi być oczywiście w znacznym stopniu uszczegółowiona przez dokładne scharakteryzowanie przeszukiwanej przestrzeni, określenie **stanów**, **operatorów**, **stanów docelowych** i ewentualnie **funkcji kosztu**.

ROZWIĄZYWANIE ZADAŃ JAKO PRZESZUKIWANIE

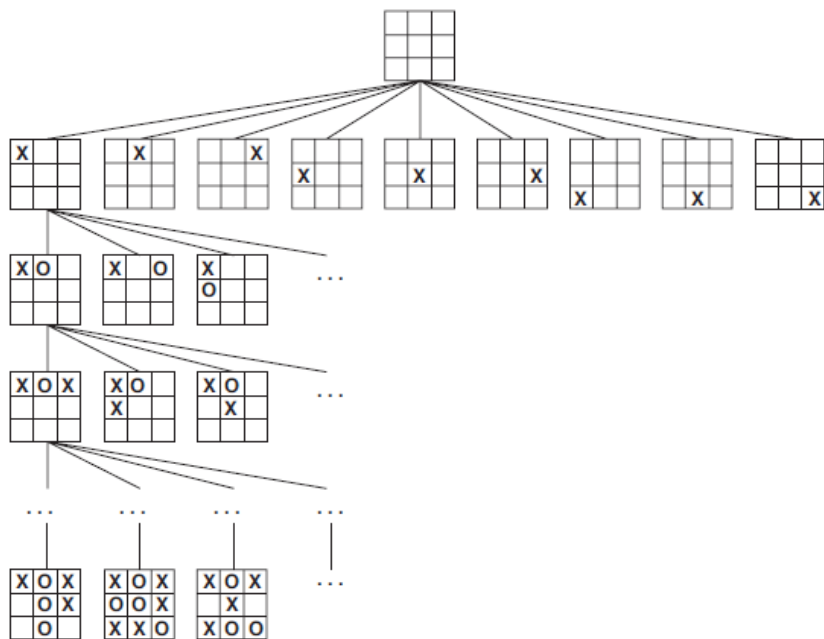
Perspektywa, zgodnie z którą rozważane przez nas zadania sztucznej inteligencji traktowane są jako szczególne warianty ogólnego zadania przeszukiwania, umożliwia jednolitą charakterystykę trudności zadań.

Trudność zadania możemy utożsamić ze złożonością przeszukiwanej przestrzeni: przestrzeń jest tym bardziej złożona, im większy jest stosunek liczby wszystkich możliwych ścieżek prowadzących od stanu początkowego do liczby tych ścieżek, które prowadzą do jednego ze stanów końcowych.

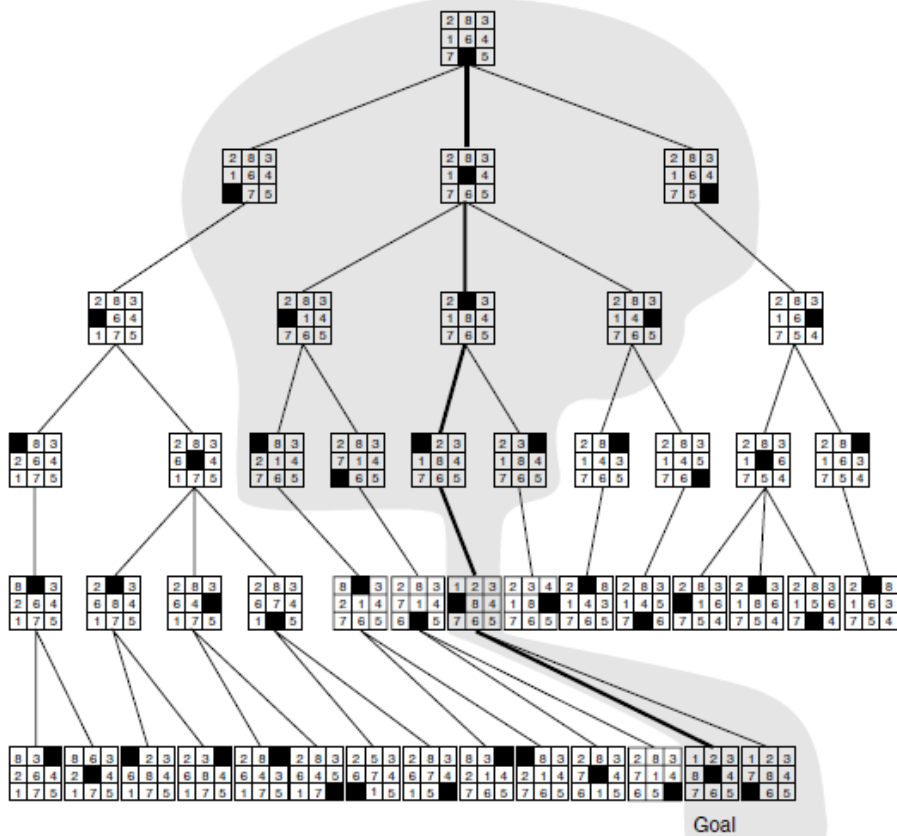
Na złożoność wpływ ma także „**współczynnik rozgałęziania**”, który określa liczbę nowych stanów generowanych w odwiedzanych przy przeszukiwaniu stanach przez dostępne operatory.

Zadanie jest trudne, jeśli w dużej przestrzeni przeszukiwań tylko bardzo nieliczne ścieżki prowadzą do stanów końcowych.

ROZWIĄZYWANIE ZADAŃ JAKO PRZESZUKIWANIE



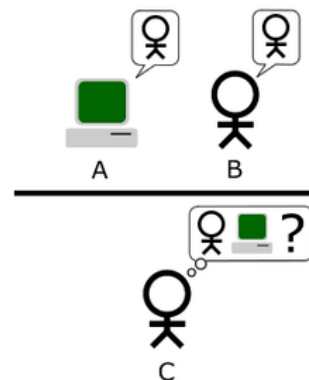
ROZWIĄZYWANIE ZADAŃ JAKO PRZESZUKIWANIE



- Test Turinga (1950) – sędzia (człowiek) prowadzi rozmowę w języku naturalnym z pozostałymi stronami, które są dla niego niewidoczne. Jeśli sędzia nie jest w stanie wiarygodnie określić, czy któraś ze stron jest maszyną czy człowiekiem, wtedy mówi się, że maszyna przeszła test.

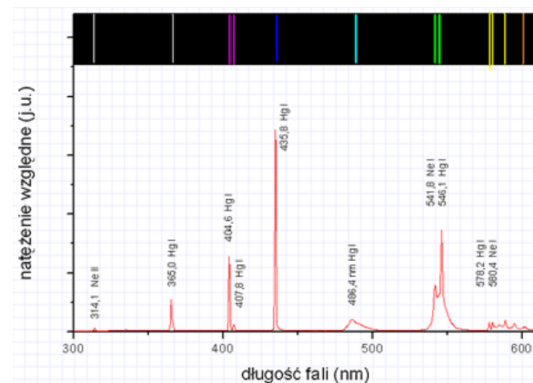
Zobacz <http://www.cleverbot.com/> – dialog z maszyną.

- Zaprojektowanie systemu *Logic Theorist* (1955, A. Newell, i H. Simon, J. C. Shaw) – system ten dowiódł blisko 40 twierdzeń matematycznych.
- Za narodziny SI przyjmuje się rok 1956, kiedy to odbyła się słynna konferencja w Dartmouth (*Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*).
- System *General Problem Solver* (1957, H.A. Simon, B. Russell) – całkowanie symboliczne, wyznaczanie ścieżki w problemie mostów królewieckich, rozwiązywanie problemu wieży Hanoi. Nowe podejście do konstrukcji systemów inteligentnych zwane **symulacją kognitywną** (symulowanie w systemie ludzkich procesów umysłowo-poznawczych).



- Propozycja **podejścia opartego na logice** zamiast modeli symulacji ludzkiego myślenia (1958, J. McCarthy). McCarthy rozwinął język **Lisp**. W ramach tego podejścia na początku lat siedemdziesiątych pojawił się nurt badań związanych z zastosowaniem **logiki pierwszego rzędu** w SI. Jego rezultatem było stworzenie **Prologu** (1973). Nurt ten zaowocował następnie powstaniem modelu **programowania logicznego z ograniczeniami**.
- **Podejście oparte na wiedzy** (połowa lat sześćdziesiątych) związane z projektem systemu DENDRAL (E. Feigenbaum, J. Lederberg), który ustalał strukturę molekularną związków organicznych na podstawie analizy widm spektroskopowych.

To podejście jest konkurencyjne do symulacji kognitywnej i podejścia opartego na logice. System rozwiązuje konkretny problem po dostarczeniu wszelkiej możliwej wiedzy ekspertów nt. problemu. Wiedza powinna być sformalizowana w postaci danych, a system powinien być wyposażony w uniwersalny mechanizm wnioskujący oraz moduł weryfikacji poprawności działania. To podejście wykorzystuje się w **modelu reprezentacji wiedzy w postaci reguł wnioskowania** oraz w **regułowych systemach ekspertowych**.



- Sformułowanie hipotezy silnego podejścia w SI (1976, A. Newell, H. A. Simon) – **fizycznego systemu symbolicznego**. System ten składa się z elementów zwanych symbolami, z których konstruuje on struktury symboliczne (wyrażenia) oraz zbioru procesów operujących na tych wyrażeniach. Wynikiem działania systemu są nowe wyrażenia.
- Rozwój modeli lingwistycznych dot. języka naturalnego i umiejętności posługiwania się nim przez system inteligentny:
 - **teoria gramatyk generatywnych** (1957, N. Chomsky) i **lingwistyka matematyczna**,
 - **teoria zależności pojęciowej** (R. Schank); stanowi paradygmat dla strukturalnych modeli reprezentacji wiedzy: sieci semantycznych, ram i skryptów,
 - **lingwistyka kognitywna** (J. Lakoff).

- Powstanie **modeli konekjonistycznych**, w których zjawiska umysłowe modeluje się jako emergentne procesy zachodzące w sieciach złożonych z prostych elementów składowych. Do modeli tych zalicza się **sztuczne sieci neuronowe**. Model neuronu zaproponowali W.S. McCulloch i W. Pitts w 1943 r.
 - Zaproponowanie sieci asocjacyjnej (1972, T. Kohonen),
 - Powstanie *Cognitronu* – wielowarstwowej sieci neuronowej (1975, K. Fukushima),
 - Zaproponowanie sieci rekurencyjnej (1982, J. Hopfield),
 - Zaproponowanie sieci samoorganizującej się (1982, T. Kohonen),
 - Zaproponowanie metody wstecznej propagacji błędów do uczenia sieci wielowarstwowych (1986, D. Rumelhart, G. Hinton),
 - Zaproponowanie sieci neuronowych opartych na adaptacyjnej teorii rezonansu (1987, S. Grossberg, G. Carpenter).
- Powstanie **modeli inspirowanych biologią** – algorytmy ewolucyjne (połowa lat sześćdziesiątych), algorytmy rojowe, algorytmy immunologiczne, systemy mrówkowe i in.
- **Systemy wieloagentowe** złożone z komunikujących się i współpracujących ze sobą agentów, które realizują wspólne cele.

Przez cały okres rozwoju SI fundamentalną rolę odgrywają w niej modele skonstruowane na gruncie rozmaitych teorii matematycznych: rozpoznawania obrazów i analizy skupisk, modeli opartych na wnioskowaniu bayesowskim, teorii zbiorów rozmytych i przybliżonych.

- **Rozpoznawanie obrazów** jest najstarszym obszarem sztucznej inteligencji (pierwsza metoda została opracowana przez R.A. Fishera w 1936 r.). Modele rozpoznawania obrazów służą do klasyfikacji i grupowania danych oraz zadań regresji.
- Wprowadzenie **modelu wnioskowania opartego na sieciach bayesowskich** (1988, J. Pearl) pozwalającego wnioskować w warunkach niepewności.
- Wprowadzenie **teorii zbiorów rozmytych** (1965, L. Zadeh) i **teorii zbiorów przybliżonych** (początek lat osiemdziesiątych, Z. Pawlak) pozwalających uwzględniać informację niejednoznaczną i nieprecyzyjną.

Ogólnie metody sztucznej inteligencji zalicza się do jednego z dwóch jej nurtów: **symbolicznej SI** (mocna SI) oraz **inteligencji obliczeniowej** (słaba SI).