

*Nauka załączkowa nie wie, dokąd zmierza. Jeśli w nauce wiadomo  
dokąd się idzie, nigdy nie zajdzie się daleko.*

René Thom, Parabole i katastrofy. Rozmowy o  
matematyce, nauce i filozofii, Biblioteka Myśli współczesnej, PIW, 1991.

# Sztuczna Inteligencja i Systemy Ekspertowe

## Rozwój, Perspektywy

Halina Kwaśnicka

**Katedra Inżynierii Oprogramowania**

Wyższa Szkoła Zarządzania i Finansów

Wrocław 2005



1.	Wstęp	7
1.1.	Elektronika wkracza w życie prywatne	7
1.2.	Panujemy nad techniką? Niezawodność oprogramowania	8
1.2.1.	Urządzenie Therac-25	8
1.2.2.	Inne przykłady	9
1.3.	Komputer pomaga człowiekowi	9
2.	Sztuczna inteligencja	11
2.1.	Definiowanie sztucznej inteligencji	11
2.2.	Podstawy sztucznej inteligencji	17
2.3.	Zakres sztucznej inteligencji	18
2.4.	Kontrowersje i trendy sztucznej inteligencji	21
2.4.1.	Dowód 'Chiński pokój'	21
2.4.2.	Badacze sztucznej inteligencji o jej trendach	24
3.	Rozwój sztucznej inteligencji – ujęcie historyczne	29
3.1.	Lata 50. ('średniowiecze' lub 'sieci neuronowe')	29
3.2.	Lata 60. ('wiek rozumowania' lub 'przeszukiwanie heurystyczne')	31
3.3.	Lata 70. ('okres romantyczny' lub 'wiedza jest siłą')	32
3.4.	Lata 80. ('okres komercjalizacji' lub 'systemy percepcji')	34
3.4.1.	Zastosowania systemów rozmytych	36
3.5.	Lata 90. ('hybrydyzacja' lub 'Gotyckie przebudzenie')	38
4.	Ostatnie lata w sztucznej inteligencji – zmiana paradygmatu	39
4.1.	Kontynuacja tradycyjnej AI – Projekt CYC	39
4.2.	Hybrydowe systemy inteligentne [22]	42
	Podwodny robot do spawania	42
	System LAM do projektowania szkła okiennego	43
	Sterownik pH w chemicznych zbiornikach (cysternach)	44
	Monitorowanie nuklearnej elektrowni	44
	Klasyfikacja gwiazd	44
	'Obliczenia miękkie' – przyszłość AI w hybrydowych systemach	44
4.3.	Projekt CAM-Brain	46
4.4.	Projekt Oxygen	47
4.5.	Systemy wieloagentowe	54
	Definiowanie systemów wieloagentowych	55
	Zarządzanie sytuacjami wyjątkowymi środowiska	57
	Zarządzanie przy uszkodzeniach w Sieciach Transportu Elektryczności	59
	Nadzór ruchu drogowego	61
4.6.	Nowe podejście: minimum reprezentacji – Projekt COG	63
	Brak wewnętrznego, monolitycznego modelu	63
	Brak monolitycznego sterowania	63
	Mózg jako maszyna przetwarzania problemów ogólnego rodzaju	64
	Istota ludzkiej inteligencji w Cog	64
4.7.	Nowe podejście: komputer uczy się rozmawiać – Projekt HAL	66

4.8.	Roboty – historia w pigułce	69
5.	Sztuczna inteligencja – perspektywy	73
5.1.	Inteligentna symulacja (ISS – Intelligent Simulation Systems)	73
5.2.	Inteligentne zasoby informacji (IRSS i Information-Resource Specialist Systems)	74
5.3.	Inteligentny kreator projektów (IPC – Intelligent Project Coaches)	75
5.4.	Zespoły robotów (RT – Robot Teams)	76
5.5.	Oczekiwanie odnośnie prac badawczych	77
	Uczenie, dostrajanie (elicitation) informacji i automatyczna adaptacja	77
	Koordynacja percepcji, planowania i działania	77
	Koordynacja i współpraca	78
	Percepcja	79
6.	System ekspertowy – zadania, budowa	80
7.	Metody reprezentacji wiedzy w typowych systemach ekspertowych	86
7.1.	Trójki <obiekt, atrybut, wartość>	87
7.2.	Sieci semantyczne	88
7.3.	Reprezentacja ramowa	89
7.4.	Reguły wnioskowania postaci: JEŚLI warunek TO konkluzja	90
7.5.	Rola reprezentacji wiedzy i modeli komputerowych w sztucznej inteligencji	90
8.	System ekspertowy – metody wnioskowania	92
8.1.	Wnioskowanie a logika	93
8.1.1.	Podstawowe pojęcia z logiki	93
8.1.2.	Dedukcja – poprawna formalnie metoda wnioskowania logicznego	95
8.2.	Inne metody wnioskowania	97
8.2.1.	Abdukcja	97
8.2.2.	Indukcja	98
8.3.	Wnioskowanie w przód	99
8.4.	Wnioskowanie w tył	101
8.5.	Sterowanie wnioskowaniem – systemy typu tablica	103
9.	Przetwarzanie wiedzy niepewnej	107
9.1.	Podejście probabilistyczne	107
9.2.	Podejście heurystyczne – czynnik pewności	109
9.3.	Wnioskowanie rozmyte: wykorzystanie logiki rozmytej	113
	9.3.1. Systemy rozmyte	116
	9.3.2. Przetwarzanie informacji wejściowych na wartości rozmyte (fuzyfikacja)	117
	9.3.3. Wnioskowanie rozmyte	118
	9.3.4. Przetwarzanie rozmytych wyjść na konkretne wartości – wyostrzenie (defuzyfikacja)	119
10.	Projektowanie systemów ekspertowych	122
10.1.	Kiedy należy budować system ekspertowy?	123
10.2.	Cykl życia systemów ekspertowych	125

11.	Pozyskiwanie wiedzy dla systemów ekspertowych	129
11.1.	Proces pozyskiwania wiedzy	131
11.2.	Etap identyfikacji	132
11.2.1.	Etap konceptualizacji dziedziny	139
11.2.2.	Formalizacja i implementacja	142
11.2.3.	Testowanie	142
11.3.	Graficzna forma reprezentacji wiedzy i automatyczne przechodzenie na reguły	144
11.3.1.	Tworzenie drzewa decyzyjnego	145
11.3.2.	Przechodzenie z drzewa decyzyjnego do zestawu reguł	146
12.	Maszynowe uczenie jako sposób pozyskiwania wiedzy z danych	147



# Część 1. Kontrowersje wokół sztucznej inteligencji, jej rozwój i perspektywy

## 1. Wstęp

Komputery – z wielkości pokoju zmniejszyły się już do rozmiaru lodówki. Był rok 1970, kiedy pojawiły się obwody komputera na kościach. Mikroprocesory mogły być produkowane masowo, co znacznie obniżyło ich cenę. Od tego czasu uszkodzony mikroprocesor – jak żarówkę – można było wyrzucić i kupić nowy. Na początku lat 70. producenci sądzili, że tylko uniwersytety będą je kupować. W 1975 roku, na okładce jakiegoś pisma reklamowany był komputer ALTAIR za 500 dolarów.

W połowie ubiegłego wieku był tylko jeden komputer; był tak szybki, że sądzono, że wystarczy tylko kilka takich komputerów na świecie: 6 w USA, 3 w Anglii, 1 w Szkocji, 1 w Brytyjskiej Administracji Kolonialnej w Indiach.

Komputer redukuje świat do zer i jedynek, są one doskonałe. Świat jest analogowy. Do komputera musimy zmienić go w cyfrowy. Obraz dzieli się na szereg punktów – pikseli. Cyfrowy obraz jest trwały, nie blaknie, nie niszczy się. Informacja cyfrowa może być przesyłana kanałami telefonicznymi (sieci). Kraje o najbardziej rozwiniętych sieciach komputerowych to Singapur i Francja.

### 1.1. Elektronika wkracza w życie prywatne<sup>1</sup>

Amerykanin, kiedy podejmuje pieniądze z banku, trafia do 2 komputerów, gdy otrzymuje prawo jazdy – do 6 komputerów, gdy pobiera z karty kredytowej – do 7, gdy dokonuje zakupów – do 3 różnych baz danych (informacje o jego wydatkach). W ciągu dnia, nazwisko Amerykanina może trafić do 50 różnych komputerów.

Jakaś informacja może być ‘przekręcona’ (fałszywa), w zmienionej postaci trafić do sieci i być dalej wykorzystywana. **Forman Braun**, hollywoodzki autor piosenek, został 5 lat temu uznany za zmarłego. Miał 85 lat, żył spokojnie pracując trochę. Od pewnego momentu jego czeki z opłatą za wodę i energię elektryczną zaczęły do niego wracać z adnotacją „zmarły”. Zaniepokojony poszedł do banku gdzie poinformowano go, że sprawa będzie załatwiona. Ale kłopoty dopiero się zaczęły. Pogłoski o śmierci rozeszły się, trafiły do opieki społecznej, która przestała mu przysyłać comiesięczne

---

<sup>1</sup> Ta część jest napisana w oparciu o notatki autorki z radiowych i telewizyjnych programów popularno-naukowych, oraz z krótkich notek w prasie popularnej. Notatki, traktowane jako ciekawostki nie przeznaczone do publikacji, nie zawierają dat i tytułów programów.

czeki. Poszedł tam i wyjaśnił, że to on we własnej osobie, że on żyje. Niezbyt uprzejmie osoba z obsługi klientów powiedziała mu, że oni nie mogli popełnić takiego błędu. Pan Braun nie mógł wyprzedzić plotki, choć bardzo się starał. Plotka była zawsze przed nim. Chciał wypożyczyć film i przedstawił kartę kredytową American-Express. Pani sprawdziła ją, po czym podarła i wyrzuciła do kosza, powiedziała mu, że utracił zdolność kredytową. Było to w obecności innych osób, co było dodatkowym stresem dla starszego, uczciwego człowieka. W końcu wstrzymano mu refundację kosztów leczenia. Minął ponad rok, zanim ostatecznie udało się wyprostować ten błąd. Forman Braun to nie jest jednostkowy przypadek, co roku spotyka to tysiące ludzi. Usuwanie błędu (sprostowanie) to jak 'łapanie wysmarowanej tłuszczem świnii'. Elektroniczne ślady naszego życia mogą śledzić w bazach danych setki osób, do jakich restauracji chodzimy, gdzie kupujemy itp.

Podobnie problemem staje się prywatność pracowników, przełożeni mogą mieć wgląd w to, jak szybko pracownik wprowadza dane, jak często i jak długie robi przerwy, na ile telefonów odpowiedziała, ile trwały poszczególne rozmowy, czas między poszczególnymi rozmowami, itp.

## **1.2. Panujemy nad techniką? Niezawodność oprogramowania**

Komputery zależą od oprogramowania. Jest to bardzo ważne, np. program zawiera 500 tysięcy linijek kodu. Jambo-Jet składa się z 6 milionów części, które należy połączyć prawidłowo, ale to podlega prawom fizyki (np. pęknięcie na skrzydle nie ma nic wspólnego z kolorem wykładziny). Z programem komputerowym jest inaczej.

### **1.2.1. Urządzenie Therac-25<sup>2</sup>**

Służy do leczenia nowotworów promieniami (radioterapii), wyprodukowany przez AECL (Atomic Energy of Canada Limited, podstawowe zadanie firmy to produkcja i instalacja reaktorów nuklearnych). Podstawowa część – akcelerator liniowy generujący wiązkę elektronów (dla I rodzaju terapii) lub wiązkę fotonów przekształcaną w wiązkę promieniowania X (dla drugiego rodzaju terapii). Przebieg terapii jest nadzorowany przez komputer, operator jest w innym pokoju (dla bezpieczeństwa), ma kontakt z pacjentem przez intercom i monitor video. Prototyp zbudowano w 1976 roku, w 1983 powstała wersja komercyjna, zastosowano do sterowania komputer PDP-11, terminal VT! dla operatora. Program napisany w assemblerze, liczył mniej niż 32 KB kodu wykonywalnego. Oprogramowanie odpowiada za całość pracy systemu. Jeden zabieg (cykl leczenia pacjenta to przeważnie kilka zabiegów) to bezpieczna dawka dla pacjenta, poniżej 200 rad, zwykle kilkadziesiąt rad. Niebezpieczna jednorazowa dawka to 500 rad – szansa przeżycia wynosi wtedy 50%. Wyprodukowano 11 urządzeń, 5 w USA i 6 w Kanadzie.

---

<sup>2</sup> O wypadkach związanych z urządzeniem Therac-25 pisano w wielu czasopismach, mówiono w radiu, telewizji. Sporo informacji można znaleźć w internecie, np. [18].



Program testowany był wiele razy, urządzenie wykorzystano tysiące razy, gdy jedna z pacjentek stwierdziła, że została poparzona. Tydzień później miała ona sparaliżowaną lewą stronę ciała. Niecały rok później, w innym ośrodku leczenia, takie samo urządzenie zawiodło. Pacjent leczony na raka skóry (góra pleców) też został poparzony, w pół roku zmarł.

W latach 1985-1987 było 6 wypadków nadmiernego napromieniowania, pacjent otrzymywał dawkę rzędu 10000 do 20000 rad.

Okazało się, że był błąd w programie komputerowym sterującym urządzeniem. Kiedy operator pomylił się w doborze dawki promieniowania i potem naprawił ten błąd, urządzenie ignorowało tę zmianę i emitowało ogromną dawkę promieniowania. Zamiast 200 radów, kobieta otrzymała dawkę 20 tysięcy. Po poprawkach, urządzenie Therac 25 nie sprawia problemów, lecz najpierw umarli ludzie..

### 1.2.2. Inne przykłady

W programie o długości 200 mln linijek jest pewne, że jest błąd. Nigdy nie można całkowicie przetestować programu. Codziennie zawieramy życie komputerom.

15.01.1990 roku, o 225 czasu wschodniego, w sieci wystąpił problem związany z programem komputerowym; zakłócenia w transmisji szybko rozprzestrzeniły się w sieci telefonicznej (wyłączała się linia po linii). 20 tysięcy rozmów nie doszło do skutku, biura podróży (ich działalność oparta jest na linii telefonicznej) poniosły milionowe straty. Jedną, spośród milionów linii kodu programu sterującego siecią była błędna.

Sterowanie samolotami, kontrola lotów – takie zadania wykonują komputery. 14.10.1980 roku zanikły informacje na wieży kontrolnej lotów w Dallas. Kontrolerzy musieli działać szybko, musieli sobie poradzić ze swoją pamięcią, ołówkiem i papierem. Problem wyniknął z powodu źle skonstruowanego programu komputerowego w połączeniu z nadmiernym ruchem na lotnisku w Dallas. Na innych lotniskach, w tym w Londynie, tego typu problemy również się zdarzały.

W coraz mniejszym stopniu maszyny zaczęły być wykorzystywane do obliczeń (informacyjne, graficzne itp.), poprzez odpowiednie zaprogramowanie są to maszyny wielozadaniowe. Przykład: *virtual reality* – można wejść do środka jeszcze nie wybudowanego domu (na etapie projektu), obejrzeć od wewnątrz i ocenić, dokonać zmian.

### 1.3. Komputer pomaga człowiekowi

W jednym z filmów National Geographic, w połowie lat dziewięćdziesiątych przedstawiony był interesujący przypadek, w którym komputer jest pomocny niewidomemu człowiekowi. Mężczyzna stracił wzrok w wieku 7 lat. Informacja istotna, ponieważ w strukturach jego mózgu zdążyły rozwinąć się połączenia neuronowe dla systemu wzroku. Podłączono go do komputera siatkówki oka i nauczono rozpoznawać płaskie figury (trójkąt, czworokąt, okrąg) pojawiające się na ekranie monitora. Następnie nauczono go czytać, czytał w miarę biegle przesuwał

się po ekranie monitora tekst. Cel – nauczenie człowieka „widzieć” przeszkody na ulicy. W okolicach oczu umieszczona byłaby mała kamera, sygnał z komputera podawany do mózgu niewidomego człowieka, w ten sposób człowiek „umiałby widzieć” przeszkody na ulicy i bezpiecznie się poruszać.

Informacja z programu telewizyjnego (ok. 1996 rok): Na etapie testów klinicznych jest system ekspertowy wspomagający proces diagnozowania i leczenia i pacjentów nieprzytomnych, z którymi niemożliwe jest przeprowadzenie wywiadu a zadziałać należy bardzo szybko, np. są to nieprzytomne osoby znalezione na ulicy. Pierwsze próby wykazały dużą użyteczność systemu.

„W pracowniach neurobiologów powstają pierwsze protezy i roboty sterowane przez niepełnosprawnych jedynie myślą” donosi Z. Wojtasiński w Rzeczpospolitej Nr 217 z dnia 17.09.2001r. zatytułowanym *Mózg z mikroprocesorem*. Prowadzone są prace nad samolotami reagującymi na polecenia pilota podawane myślą (mentalne polecenia). W instytucie Biochemii Maxa Plancka w Monachium sprzężono dwa samodzielnie działające obwody: wytrawione na powierzchni chipa połączenia elektroniczne i włókna nerwowe dwóch komórek mózgu ślimaka. Oba obwody mogą się komunikować, pole elektryczne w tranzystorze wywołuje reakcje chemiczne, za pomocą których porozumiewają się komórki nerwowe, oraz zmiany w komórkach nerwowych powodują zmiany napięcia w tranzystorze. W całym tym procesie komórki żywe nie ulegają zniszczeniu. Nie wiemy, w jakim stopniu możliwe jest sprzęgnięcie mózgu z komputerem. Ale już teraz jest z takich badań pożytek dla człowieka, jest nim wszczepianie do pnia mózgu sztucznego zmysłu słuchu. „Kobieta, której prof. Henryk Skarżyński z Warszawy wszczepił w 1998 r. implant pniowy, uzyskała najlepsze na świecie efekty przywrócenia słuchu i mowy. Potrafi nie tylko swobodnie porozumiewać się w języku polskim, ale jako jedyna posługuje się też dwoma językami obcymi: niemieckim, który znała wcześniej, i włoskim, jakiego nauczyła się już po wszczepieniu implantu.”<sup>3</sup> Prace dotyczące wzroku są również zaawansowane, elektroniczna gałka oczna *Dobelle eye* pozwala na poruszanie się osobom niewidomym po pokoju lub w tunelu metra.

---

<sup>3</sup> Z. Wojtasiński: *Mózg z mikroprocesorem*. Rzeczpospolita Nr 217 z dnia 17.09.2001r.