

Maszyny matematyczne i myślenie — podstawowe problemy i definicje sztucznej inteligencji

Przemysław Kłęsk

Katedra Metod Sztucznej Inteligencji i Matematyki Stosowanej
Wydział Informatyki, ZUT w Szczecinie
pklesk@wi.zut.edu.pl

- 1 ***Maszyny matematyczne i myślenie***, E.A. Feigenbaum, J. Feldman, PWN, 1963.
(zawiera prace Turinga i Minsky'ego w polskim przekładzie)
- 2 ***Artificial Intelligence: A Modern Approach***, S.J. Russel, P. Norwig, 4th edition, Pearson Education Limited, 2020.
- 3 ***Wstęp do sztucznej inteligencji***, M. Flasiński, PWN, 2018.
- 4 ***Metody i techniki sztucznej inteligencji***, L. Rutkowski, wyd. 2, PWN, 2023.

- 1 Przykłady problemów w ramach SI
 - Przeszukiwanie drzew gier
 - Przeszukiwanie grafów
 - Problemy optymalizacji
 - Problemy decyzyjne, wyboru strategii
 - Problemy rozpoznawania wzorców
 - Problemy eksploracji danych
 - Problemy regulacji i sterowania
 - Problemy z zakresu sztucznego życia
- 2 Czy maszyny mogą myśleć?
 - Poglądy Turinga
 - Poglądy Minsky'ego

Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

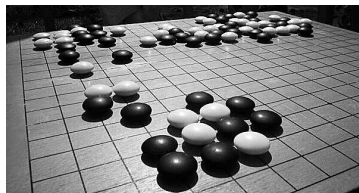
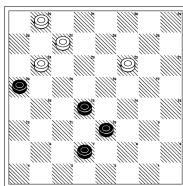
- Przeszukiwanie drzew gier
- Przeszukiwanie grafów
- Problemy optymalizacji
- Problemy decyzyjne, wyboru strategii
- Problemy rozpoznawania wzorców
- Problemy eksploracji danych
- Problemy regulacji i sterowania
- Problemy z zakresu sztucznego życia

2 Czy maszyny mogą myśleć?

- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

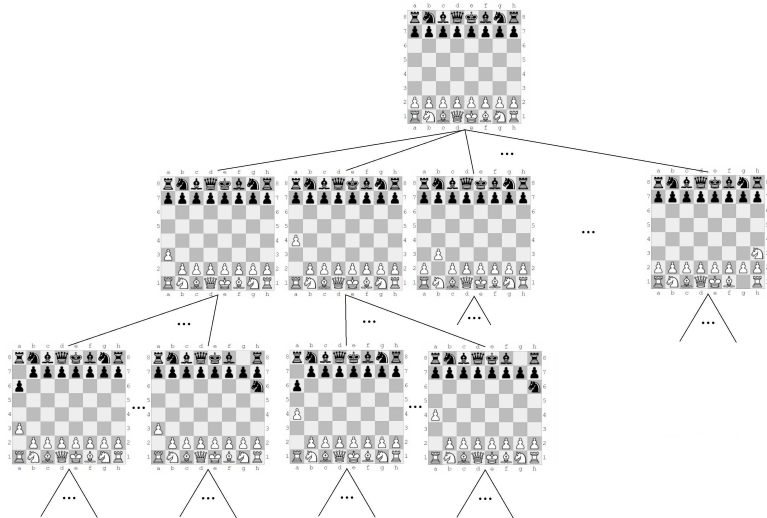
Gry

- Zwykle rozpatrywane gry dwuosobowe: **szachy**, **warcaby**, **GO** (batuk), ...



- Gra — pewna sytuacja konfliktowa, w której gracze mają sprzeczne interesy, i gdzie mamy jasno zdefiniowane reguły.
- Problem przeszukiwania drzewa gry:**
Mając daną pewną pozycję w grze (w szczególności początkową), należy wystawić **oceny liczbowe** dla poszczególnych **ruchów** możliwych dla gracza, na którego przypada teraz kolej ruchu. Ocena ma reprezentować dokładną lub prawdopodobną **wypłatę** (ang. *payoff*) gracza, jeżeli wybierze on dany ruch przy założeniu optymalnego postępowania drugiego gracza.

Gry — początek drzewa szachów

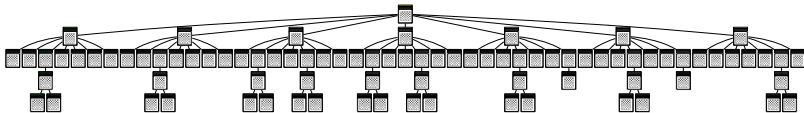


Gry

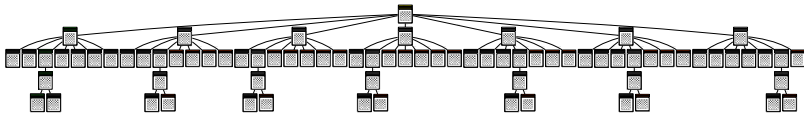
- Algorytmy: *min-max*, *przycinanie α - β* , *Scout*, ...
- Usprawnienia: *Quiescence*, *tablica transpozycji*, *tablica odrzuceń*, *killer heuristic*, ...
- Wyzwania:
 - eksplozja kombinatoryczna (geometryczna) drzewa gry,
 - złożoność obliczeniowa i pamięciowa,
 - projektowanie funkcji oceniających pozycje (heurystyki),
 - efekt horyzontu,
 - gry z elementami losowymi,
 - gry o niepełnej informacji.

Gry — początki drzewa warcab

- **min-max + Quiescence**, głębokość (dla pozycji cichych) 1.0, stanów 86:



- **przycinanie α - β + Quiescence**, głębokość 1.0, stanów 78:



- **min-max + Quiescence**, głębokość 1.5 (gdy cicho), stanów 693:



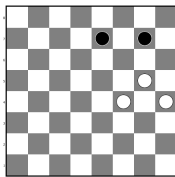
- **przycinanie α - β + Quiescence**, głębokość 1.5, stanów 323:



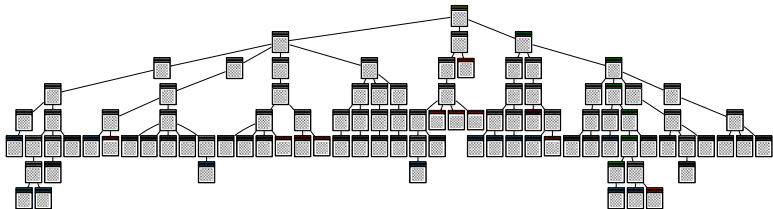
[Wyniki generowane przez bibliotekę SaC: <https://pklesk.github.io/sac>, ilustracje dzięki: *Graphviz* <https://www.graphviz.org/>]

Gry — końcówki warcabowe

- Białe rozpoczynają i wygrywają w 4 posunięciach:



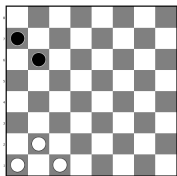
- przycinanie α - β + Quiescence*, głębokość 2.5, stanów 100:



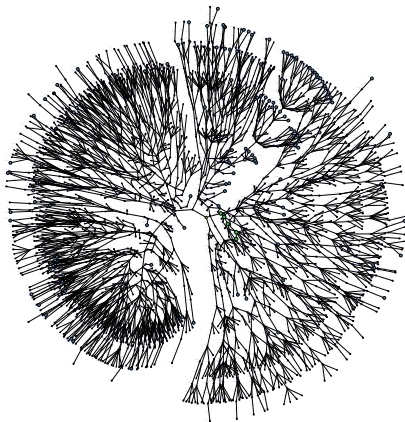
- Wariant główny: (G5 : H6, G7 : F6, F4 : G5, F6 : E5, G5 : F6, E5 : G7, H6 : F8 : D6).

Gry — końcówki warcabowe

- Białe rozpoczynają. Kto wygra?



- *przycinanie α - β + Quiescence*, głębokość 5.5, stanów 2 845:



Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

- Przeszukiwanie drzew gier
- **Przeszukiwanie grafów**
- Problemy optymalizacji
- Problemy decyzyjne, wyboru strategii
- Problemy rozpoznawania wzorców
- Problemy eksploracji danych
- Problemy regulacji i sterowania
- Problemy z zakresu sztucznego życia

2 Czy maszyny mogą myśleć?

- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

Grafy w ramach SI

- Grafy **geograficzne**, **labirynty**, **nawigacje** ... ale także układanki, łamigłówek reprezentowalne jako graf, np.: **sudoku**, **puzzle przesuwne**, **kostka Rubika**, **pasjansy**, **Rummikub**, **upakowania**, itp.



9		7	9	6	2	4			
	1		8	5	3		6		
5			4	7	9				1
				8					
4			3	2	1				7
	9		2	4	8		5		
6				3					8
		8	6	9	5	1			



13									
14		27	24	22	19	17			
			11		32	18	15	16	
30		12				25		23	
		15							
31		16			33		28	20	
								21	
35			34			29		25	

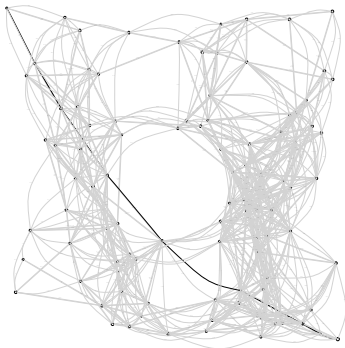
- Węzły — stany układanki, krawędzie — możliwe ruchy, manipulacje przeprowadzające dany stan w inny.
- Problem przeszukiwania grafu stanów:**
Mając dany pewien stan początkowy, należy znaleźć ścieżkę przejść (o ile istnieje) do stanu docelowego. Jeżeli dodatkowo określono w zadaniu, należy znaleźć ścieżkę najkrótszą.

Grafy w ramach SI

- Algorytmy: *algorytm Dijkstry, Best-first search, A*, IDA**.
- Wyzwania:
 - reprezentacja stanu,
 - generowanie stanów potomnych,
 - projektowanie funkcji kosztu (tzw. dopuszczalne heurystyki),
 - rozmiar grafu nieznan z góry,
 - szybkie struktury danych.

Grafy geograficzne — przykład

- Graf syntetyczny: 100 węzłów, 10% możliwych krawędzi, odległości z zaburzeniami.



- Najkrótsza ścieżka (0, 18, 14, 64, 60, 10, 5, 99) o koszcie ≈ 149.52 .
- **Algorytm Dijkstry:** odwiedza wszystkie stany — przeszukiwanie nieinformowane.
- Algorytm **A^* + odległość euklidesowa:** stanów odwiedzonych 18, stanów otwartych: 38 — przeszukiwanie poinformowane.

Łamigłówki, układanki, ...

- Sudoku — poziom trudny:

* 8 9	4 * 6	* * *
* * *	9 * *	8 * *
* * 7	* 3 *	4 2 *
* * 3	5 * *	* * *
* 1 *	6 * *	* 5 2
* * *	* * *	6 1 *
* * *	* * 9	* * 1
* * 4	8 1 5	* * 7
* * *	* * *	2 * 8



3 8 9	4 2 6	1 7 5
1 4 2	9 5 7	8 3 6
6 5 7	1 3 8	4 2 9
2 6 3	5 9 1	7 8 4
7 1 8	6 4 3	9 5 2
4 9 5	7 8 2	6 1 3
8 3 6	2 7 9	5 4 1
9 2 4	8 1 5	3 6 7
5 7 1	3 6 4	2 9 8

- *Best-first search + heurystyka „liczba pustych miejsc”*, potomkowie w „polu minimalnym”, odwiedzonych stanów 222, otwartych stanów 18:



[czas: 46 ms, Intel Xeon CPU E3-1505M v5 2.8 GHz (boost 3.7 GHz)]

Łamigłówki, układanki, ...

- Sudoku minimalne:**

* * *	8 * 1	* * *
* * *	* * *	4 3 *
5 * *	* * *	* * *
* * *	* 7 *	8 * *
* * *	* * *	1 * *
* 2 *	* 3 *	* * *
6 * *	* * *	* 7 5
* * 3	4 * *	* * *
* * *	2 * *	6 * *



3 6 4	8 2 1	7 5 9
2 1 8	7 9 5	4 3 6
5 9 7	3 4 6	2 1 8
9 3 1	5 7 2	8 6 4
4 7 5	6 8 9	1 2 3
8 2 6	1 3 4	5 9 7
6 4 2	9 1 8	3 7 5
1 5 3	4 6 7	9 8 2
7 8 9	2 5 3	6 4 1

- Best-first search + heurystyka „suma pozostałych możliwości”,**
potomkowie w „polu minimalnym”, odwiedzonych stanów 86, otwartych stanów 18:



[czas: 41 ms, Intel Xeon CPU E3-1505M v5 2.8 GHz (boost 3.7 GHz)]

Łamigłówki, układanki, ...

- Rozmiar minimalnego sudoku dla wariantu 9×9 — **17** — odkryty w 2011 r.
- Badacze: prof. **Gary McGuire** i zespół, University College w Dublinie, Irlandia.
[<https://maths.ucd.ie/~gmg>]
- Opracowano program, który pokazał, że każde sudoku o 16 wiadomych ma więcej niż jedno rozwiązanie.
- Nie wszystkie takie układy $\binom{81}{16} \approx 3 \cdot 10^{16}$ były sprawdzane (argumenty symetrii, redukcje).
- Sprawdzenie trwało od stycznia do grudnia ($\approx 7 \cdot 10^6$ rdzeniogodzin).
- Przykład minimalnego sudoku dla wariantu 4×4 :

*	*	*	*
*	*	1	2
*	*	*	*
4	*	*	3

Łamigłówki, układanki, ...

- **Puzzle przesuwne** (puzzle $n^2 - 1$):

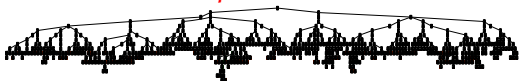
Rozpoczynając od danego stanu początkowego i przesuwać numery sąsiadujące z polem pustym (o numerze 0) w jego miejsce, należy w jak najmniejszej liczbie ruchów dojść do stanu docelowego, w którym numery $\{0, 1, \dots, n^2 - 1\}$ są uporządkowane kolejno wierszami.



0	1	2
3	4	5
6	7	8

- Grafy przeszukiwań dla stanu $(0, 3, 2; 4, 7, 8; 1, 5, 6)$ i różnych heurystyk, długość ścieżki 16:

A^ + "misplaced tiles"*



[stanów: 672, czas: 34 ms, Intel Xeon CPU E3-1505M v5 2.8 GHz (boost 3.7 GHz)]

A^ + "Manhattan"*

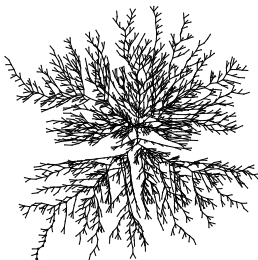


[stanów: 106, czas: 21 ms, Intel Xeon CPU E3-1505M v5 2.8 GHz (boost 3.7 GHz)]

- Długość najkrótszej ścieżki 16. Ścieżka: $(D, R, D, R, U, L, L, D, R, U, U, L, D, R, U, L)$.

Łamigłówki, układanki, ...

- Puzzle przesuwne dla $n = 4$: (1, 8, 3, 7; 6, 0, 2, 11; 4, 14, 10, 15; 12, 13, 5, 9).
Długość ścieżki: 28. Ścieżka: (L, D, D, R, R, R, U, U, U, L, D, D, L, D, R, U, U, L, U, L, D, R, D, D, L, U, U, U).
- A^* + "Manhattan + linear conflicts": stanów 2 637.



[czas: 47 ms, Intel Xeon CPU E3-1505M v5 2.8 GHz (boost 3.7 GHz)]

- Trudny przykład (13, 5, 4, 10; 9, 12, 8, 14; 2, 3, 7, 1; 0, 15, 11, 6).
Długość ścieżki: 55. Ścieżka:
(R, U, U, L, D, R, D, L, U, U, U, R, D, R, D, L, U, L, D, R, U, U, R, D, D, R, U, U, L, D, D, R, D, L, U, U, L, U, R, D, R, D, D, L, U, U, R, U, L, L, D, L, U).
Stanów $4.7 \cdot 10^6$. Czas ≈ 26 s.

Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

- Przeszukiwanie drzew gier
- Przeszukiwanie grafów
- **Problemy optymalizacji**
- Problemy decyzyjne, wyboru strategii
- Problemy rozpoznawania wzorców
- Problemy eksploracji danych
- Problemy regulacji i sterowania
- Problemy z zakresu sztucznego życia

2 Czy maszyny mogą myśleć?

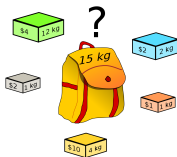
- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

Dyskretny problem plecakowy (złodziejski)

● Problem:

Dany jest plecak o objętości $C > 0$ oraz zbiór przedmiotów $I = \{(v_1, c_1), (v_2, c_2), \dots, (v_n, c_n)\}$, gdzie v_i to wartość przedmiotu a c_i objętość. Należy znaleźć taki podzbiór I_* zbioru I , który maksymalizuje sumę wartości nie przekraczając objętości plecaka, tj.:

$$\sum_{\substack{i \\ (v_i, c_i) \in I_*}} v_i \longrightarrow \max \quad \text{oraz} \quad \sum_{\substack{i \\ (v_i, c_i) \in I_*}} c_i \leq C.$$



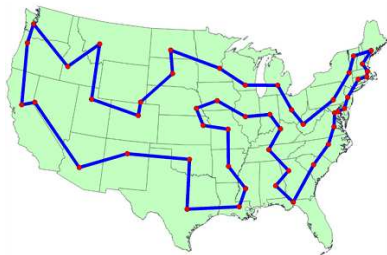
[https://en.wikipedia.org/wiki/Knapsack_problem]

- Jaka złożoność obliczeniowa? Dyskretny a ciągły problem plecakowy.
- Zastosowania: cięcie materiałów — minimalizacja odpadów, wybór portfela inwestycyjnego, sekurytyzacja, generowanie kluczy szyfrujących.
- Algorytmy: *programowanie dynamiczne, algorytm genetyczny, ...*

Problem komiwojażera (TSP)

● Problem:

Dany jest zbiór n miast. Rozpoczynając od zadanego miasta początkowego należy znaleźć najkrótszą ścieżkę przechodzącą przez wszystkie miasta (każde może być odwiedzone jednokrotnie) i powracającą do miasta początkowego.



[[https://optimization.mccormick.northwestern.edu/...](https://optimization.mccormick.northwestern.edu/)]



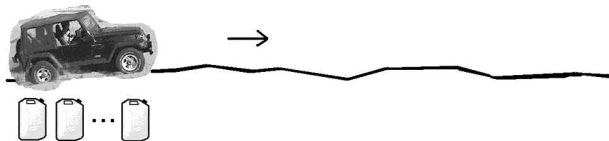
[<http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/sweden/index.html>]

- Jaka złożoność obliczeniowa?
- Zastosowania: zadania routingu, logistyka, sekwencjonowanie DNA, ...
- **Algorytmy:** *A* + minimalne drzewa rozpinające, branch-and-bound, programowanie całkowitoliczbowe, LKH (Lin-Kernighan heuristic), aproksymacyjne (algorytm Christofidesa, 2-opt, zachłanny, ...).*

Problem jeepa

- **Problem:**

Jeep na pustyni ma do dyspozycji n kontenerów, każdy z 1 jednostką paliwa. Zużycie paliwa jest 1 : 1 tzn. 1 jednostka paliwa na 1 jednostkę odległości. Celem jeepa jest zmaksymalizowanie odległości D_n , którą ma pokonać w głąb pustyni, przy zachowaniu następujących reguł. Jeep może zatankować bak co najwyżej 1 jednostką paliwa i nie może wziąć żadnego dodatkowego paliwa ze sobą. Jeep może wyruszyć z bazy, pozostawić część paliwa na drodze i wrócić do bazy używając pozostałego mu paliwa. W bazie jeep może ponownie zatankować się i znów wyruszyć. Gdy natrafi na paliwo pozostawione na drodze, jeep może uzupełnić nim swój bak.



- Małe rozwiązania: $D_1 = ?$, $D_2 = ?$, $D_3 = ?$ i sekwencje ruchów dla nich.
- Czy można dojechać dowolnie daleko przy nieograniczonym n ?
- Algorytmy przybliżone: *algorytmy genetyczne*, *uczenie ze wzmocnieniem*, ...

Problem jeopa

- Rozwiązanie:

$$D_n = 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \cdots + \frac{1}{2n-1} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{2k-1} = H_{2n-1} - \frac{1}{2}H_{n-1}.$$

- Liczba harmoniczna:

$$H_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n}.$$

- Stała Eulera–Mascheroniego:

$$\gamma = \lim_{n \rightarrow \infty} (H_n - \ln n) = 0.5772156649015328 \dots \quad (1)$$

Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

- Przeszukiwanie drzew gier
- Przeszukiwanie grafów
- Problemy optymalizacji
- **Problemy decyzyjne, wyboru strategii**
- Problemy rozpoznawania wzorców
- Problemy eksploracji danych
- Problemy regulacji i sterowania
- Problemy z zakresu sztucznego życia

2 Czy maszyny mogą myśleć?

- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

Dylemat więźnia

- Problem:** Policja aresztowała dwóch podejrzanych o współpopelnienie przestępstwa. Każdy z nich przebywa w odrębnej celi. Policja nie ma wystarczających dowodów, ale próbuje każdego z nich namówić na przyznanie się i wydanie współpodejznanego w zamian za łagodniejszą karę, podając do wiadomości poniższą tabelkę kar. Co powinien zrobić gracz w tej grze — milczeć czy zdradzić partnera?

	A milczy	A zdradza
B milczy	A i B odsiadują po 1 roku	A wychodzi na wolność B odsiaduje 5 lat
B zdradza	A odsiaduje 5 lat B wychodzi na wolność	A i B odsiadują po 4 lata

- Iterowany dylemat więźnia:** Jaką strategię powinien stosować gracz w sekwencji wielu gier w dylemat więźnia, aby zminimalizować sumaryczną karę? Po każdej grze gracze dowiadują się jej wyniku.
- Czy liczba gier może być podana z góry?

Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

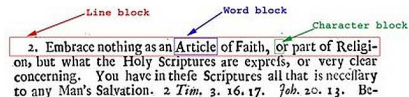
- Przeszukiwanie drzew gier
- Przeszukiwanie grafów
- Problemy optymalizacji
- Problemy decyzyjne, wyboru strategii
- **Problemy rozpoznawania wzorców**
- Problemy eksploracji danych
- Problemy regulacji i sterowania
- Problemy z zakresu sztucznego życia

2 Czy maszyny mogą myśleć?

- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

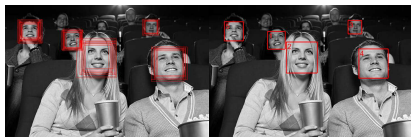
Rozpoznawanie wzorców — przykłady

- OCR.



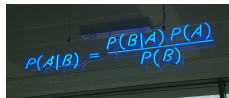
[<http://simon-tanner.blogspot.com/2015/06/text-capture-and-optical...>]

- Wykrywanie obiektów (twarzy, pieszych, pojazdów, znaków drogowych, ...).



[<https://www.researchgate.net/project/Constructions-of-sets-of-integral-...>]

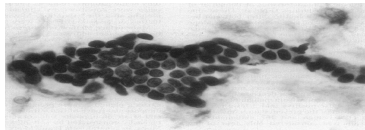
- Filtry antyspamowe.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Naive_Bayes_spam_filtering]

[<https://pythonmachinelearning.pro/text-classification-tutorial-...>]

- Komputerowe wspomaganie diagnozy medycznej (CADx).



[<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer...>]

[<https://www.nature.com/articles/srep24454>]

Rozpoznawanie wzorców — przykłady

- Rozpoznawanie twarzy.



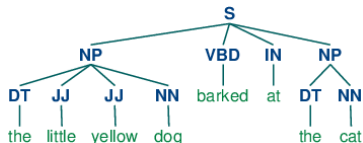
[[http://scikit-learn.org/stable/auto_examples/...](http://scikit-learn.org/stable/auto_examples/)]

- Rozpoznawanie tęczywki oka.



[<http://www.cs.princeton.edu/~andyz/irisrecognition/>]

- Rozpoznawanie części mowy, zdania.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Part-of-speech_tagging]

- rozpoznawanie mowy



[https://en.wikipedia.org/wiki/Speech_recognition]

Rozpoznawanie wzorców

Algorytmy:

- *naiwny klasyfikator Bayesa,*
- *drzewa decyzyjne (CART, ID3, C4.5),*
- *klasyfikatory odległościowe (k -NN),*
- *sztuczne sieci neuronowe (MLP, RBF),*
- *maszyny punktów podparcia (SVM),*
- *klasyfikatory zespołowe (AdaBoost, RealBoost, Random Forest),*
- *regresja logistyczna,*
- *splotowe sieci neuronowe (CNN),*
- *ukryte modele Markowa (HMM),*
- ...

- **Zagadnienia powiązane:** ekstrakcja cech, przeuczenie, wybór złożoności modelu, regularyzacja, testowanie dokładności, ...

Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

- Przeszukiwanie drzew gier
- Przeszukiwanie grafów
- Problemy optymalizacji
- Problemy decyzyjne, wyboru strategii
- Problemy rozpoznawania wzorców
- **Problemy eksploracji danych**
- Problemy regulacji i sterowania
- Problemy z zakresu sztucznego życia

2 Czy maszyny mogą myśleć?

- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

- Przeszukiwanie drzew gier
- Przeszukiwanie grafów
- Problemy optymalizacji
- Problemy decyzyjne, wyboru strategii
- Problemy rozpoznawania wzorców
- Problemy eksploracji danych
- **Problemy regulacji i sterowania**
- Problemy z zakresu sztucznego życia

2 Czy maszyny mogą myśleć?

- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

Sterowanie i regulacja

- **Przykłady:**
 - odwrócone wahadła,
 - sterowniki temperatury w domach,
 - automatyczne suwnice (np. przy rozładunku statków),
 - automatyka dozowania leków,
 - stabilizatory obrazu w kamerach cyfrowych,
 - automatyczne pojazdy, ...
- **Algorytmy:** *regulatory PID, zbiory rozmyte — sterownik Mamdaniego–Zadeha, filtr Kalmana, uczenie ze wzmocnieniem (Q-learning), ...*

Spis treści

1 Przykłady problemów w ramach SI

- Przeszukiwanie drzew gier
- Przeszukiwanie grafów
- Problemy optymalizacji
- Problemy decyzyjne, wyboru strategii
- Problemy rozpoznawania wzorców
- Problemy eksploracji danych
- Problemy regulacji i sterowania
- **Problemy z zakresu sztucznego życia**

2 Czy maszyny mogą myśleć?

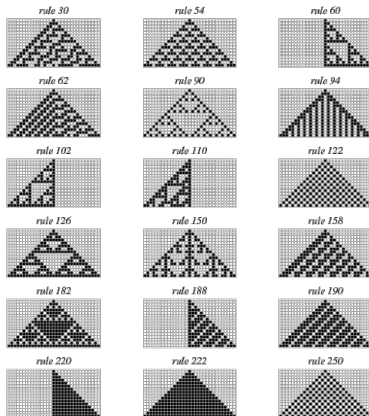
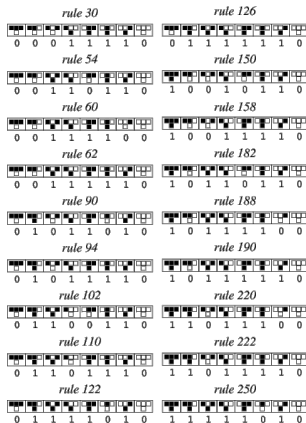
- Poglądy Turinga
- Poglądy Minsky'ego

Sztuczne życie

- **Automaty komórkowe** (ang. *cellular automata*)
— Stephen Wolfram (lata 80-e; dokładna analiza jednowymiarowych automatów).
- **„Gra w życie”** (ang. *The Game of Life*)
— John Horton Conway (1970; dwuwymiarowy automat z zaskakującymi zachowaniami).
- Symulacje światów / ekosystemów z osobnikami ze zdefiniowanymi zmysłami, motoryką, głodem, agresją, ...

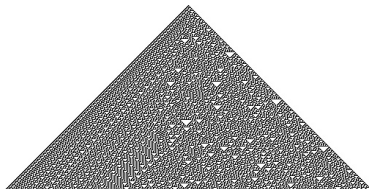
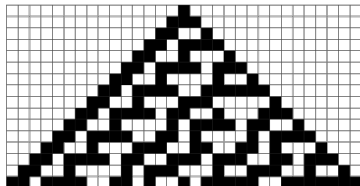
Automaty komórkowe

[<http://mathworld.wolfram.com/ElementaryCellularAutomaton.html>]



Automaty komórkowe — „reguła 30”

rule 30



[<http://mathworld.wolfram.com/Rule30.html>]

[<https://www.youtube.com/watch?v=60P7717-XOQ>]



[<http://blog.stephenwolfram.com...>]



„Gra w życie” Conwaya

- Wcześniej podobne pomysły mieli także: John von Neumann i Stanisław Ulam (lata 40-e XX w.).
- Dwuwymiarowy automat komórkowy.



[<https://bitstorm.org/gameoflife/>]

- Reguły:
 - 1 jeżeli pełna komórka ma 0 lub 1 sąsiadów to umiera (samotność),
 - 2 jeżeli pełna komórka 4 lub więcej sąsiadów to umiera (tłok),
 - 3 jeżeli pełna komórka ma 2 lub 3 sąsiadów to trwa,
 - 4 jeżeli pusta komórka ma dokładnie 3 sąsiadów to staje się pełną.

Spis treści

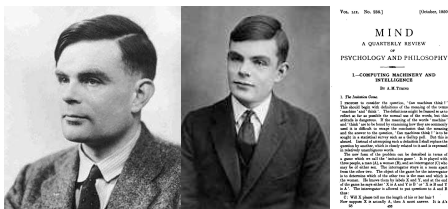
- 1 Przykłady problemów w ramach SI
 - Przeszukiwanie drzew gier
 - Przeszukiwanie grafów
 - Problemy optymalizacji
 - Problemy decyzyjne, wyboru strategii
 - Problemy rozpoznawania wzorców
 - Problemy eksploracji danych
 - Problemy regulacji i sterowania
 - Problemy z zakresu sztucznego życia

- 2 Czy maszyny mogą myśleć?
 - Poglądy Turinga
 - Poglądy Minsky'ego

Czy maszyny mogą myśleć?

- 1 **Nie**, jeżeli zdefiniować *myślenie* jako działalność wyłącznie ludzką. Wtedy każde tego typu zachowanie się maszyn trzeba by nazywać jedynie podobnym do myślenia.
- 2 **Nie**, jeżeli założyć, że w samej istocie myślenia jest coś niezgłębionego, tajemnego, mistycznego.
- 3 **Tak**, jeżeli przyjąć, że zagadnienie to należy **rozstrzygnąć na drodze eksperymentu (!)**, porównując zachowanie maszyny z zachowaniem ludzi dla czynności, do których termin *myślenie* ma zastosowanie.

Czy maszyny mogą myśleć?



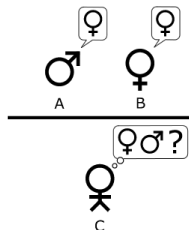
Alan Mathison Turing (1912–1954)

- **A.M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence", *Mind*, 1950.**

<https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238>

- Polski przekład: „Maszyny liczące a inteligencja” m.in. w (Feigenbaum i Feldman, 1963).
- Turing proponuje rozważyć problem: „*Czy maszyny mogą myśleć?*”.
- Trzeba **zdefiniować**: *maszyna* i *myśleć*. Definicje powinny być na tyle dobre, żeby oddawać potoczne rozumienie tych słów.
- Trudności: definicje nieściśle, wieloznaczne, statystyczne (jeżeli na bazie ankiet) — niebezpieczeństwo: odpowiedź na postawiony problem też byłaby statystyczna.
- Turing zastępuje więc oryginalny problem mniej dwuznacznym — *grą w naśladownictwo*.

Gra w naśladownictwo (ang. *imitation game*)



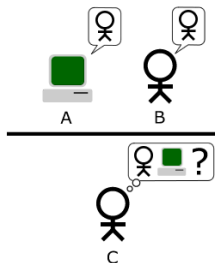
- Mężczyzna A i kobieta B są w odrębnym pokoju niż pytający C .
- C uzyskuje odpowiedzi od graczy jako od X i Y , i stara się rozstrzygnąć czy $X = A$ i $Y = B$, czy też $X = B$ i $Y = A$.
- Zadaniem A jest oszukanie C , tak aby C źle go zidentyfikował.
- Pytania zadawane są poprzez terminal wykluczający możliwości identyfikacji poprzez głos, zapach, itp.

Gra w naśladownictwo

- Pytający może np. zapytać: „*Proszę X, aby powiedział, jak długie ma włosy.*”.
- Jeżeli X faktycznie jest mężczyzną to powinien starać się oszukiwać odpowiadając np. „*Moje włosy są ostrzyżone, a najdłuższe kosmyki mają około 9 cali długości.*”.
- Zadaniem gracza kobiety jest pomóc pytającemu.
- Prawdopodobnie najlepszą strategię dla niej jest po prostu mówienie prawdy. Może ona co prawda dodawać „*Jestem kobietą, nie słuchaj go.*”, ale przecież mężczyzna może robić to samo.

Gra w naśladownictwo — test Turinga

- **Turing:** *Co się stanie, gdy jednego z graczy zastąpi maszyna w tej grze? Czy pytający będzie decydował błędnie tak samo często jak wtedy, gdy w grze bierze udział kobieta i mężczyzna?*



- **Turing:** *Niech powyższe pytania zastąpi oryginalne: „Czy maszyny mogą myśleć?”.*

Gra w naśladownictwo

Przykładowa rozmowa wg Turinga:

pyt.: *Napisz mi sonet na temat Forth Bridge?*

odp.: *Nie licz na mnie. Nigdy nie umiałem pisać wierszy.*

pyt.: *Ile jest 34 957 dodać 70 764?*

odp.: *(Po 30 s namyśle) 105 621.*

pyt.: *Czy grasz w szachy?*

odp.: *Tak.*

pyt.: *Mam K na K1 i innych figur nie mam. Ty masz K na K6 i R na R1. Jest twój ruch. Jakie zrobisz posunięcie?*

odp.: *(Po 15 s namyśle) R-R8 mat.*

Gra w naśladownictwo

Krytyczne uwagi samego Turinga:

- 1 **+** *Ostre oddzielenie fizyczności i intelektu. Sztuczna skóra (nawet gdyby istniała) nie czyni maszyny w nią ubraną bardziej ludzką.*
- 2 **—** *Maszynie daje się dużo mniejsze szanse niż człowiekowi. Można to uzmysłowić sobie myśląc o grze odwrotnej — człowiek naśladuje maszynę i szybko kompromituje się np. powolnością i niedokładnością w arytmetyce.*
- 3 **—** *Czy maszyny mogłyby robić coś, co jest myśleniem, ale innym od ludzkiego? Oczywiście tak. To silny minus, w przypadku odpowiedzi negatywnej na test gry w naśladownictwo.*
- 4 **+** *Jeżeli tylko maszyna będzie mogła zadawalająco grać w naśladownictwo, to rozstrzyga problem oryginalny.*

Turing przewidywał za 50 lat maszyny z pamięcią $\approx 10^9$ bitów, oszukujące około 30% ekspertów.

Sprzeczyny do poglądów Turinga

- 1 Sprzeciw teologiczny.
- 2 Sprzeciw „głów w piasku”.
- 3 Sprzeciw matematyczny.
- 4 Sprzeciw świadomości.
- 5 Sprzeczyny różnych niemożności.
- 6 Sprzeciw lady Lovelace.
- 7 Sprzeciw wyływający z pozazmysłowej percepcji.

Sprzeciw do poglądów Turinga

Sprzeciw teologiczny

Myślenie jest funkcją nieśmiertelnej duszy człowieka. Wszechmogący Bóg dał nieśmiertelną duszę każdemu mężczyźnie i każdej kobiecie, ale nie dał jej żadnemu innemu stworzeniu ani maszynie. Stąd, żadne zwierzę ani żadna maszyna nie może myśleć.

- **Turing:** *Sprzeciw niepoważny naukowo. Odpowiadając w terminach teologicznych można mieć poniższe uwagi.*
- **Turing:** *Lepiej byłoby podać zwierzęta w jednej grupie z ludźmi. Większa różnica pomiędzy człowiekiem a czymkolwiek nieożywionym, niż człowiekiem a np. słoniem.*
- **Turing:** *Dowolny pogląd ortodoksyjny warto weryfikować z inną reglą. Dlaczego chrześcijanie odrzucili muzulmański pogląd, że kobiety nie mają dusz? Dlaczego chrześcijanie przyjęli w końcu teorię Kopernika?*
- **Turing:** *Sprzeciw pociąga za sobą ograniczenia wszechmocy Boga. Istnieją rzeczy, których On nie może(?) zrobić: obdarzyć duszą słonia. Ale czy nie powinniśmy wierzyć, że może On obdarzyć duszą słonia, jeżeli uzna, że słoń jest tego godny. Wszystko to dogmatyczne spekulacje*

Sprzeczyny do poglądów Turinga

Sprzeciw „głów w piasku”

Konsekwencje myślenia maszyn byłyby zbyt okropne. Miejmy nadzieję i wierzymy, że one nie mogą myśleć.

- **Turing:** *Także niepoważny naukowo.*
- **Turing:** *Powiązany ze sprzeciwem teologicznym — chcemy wierzyć, że człowiek jest wyższy ponad resztę stworzenia.*
- **Turing:** *Najlepiej byłoby dowieść **bazwarunkowej wyższości** — można by wówczas „wypoczywać”, nie byłoby niebezpieczeństwa utraty dominującej pozycji.*
- **Turing:** *Sprzeciw popularny wśród ludzi intelektu, ceniących potęgę myślenia i lubiących opierać ich wiarę na tej potędze.*

Sprzeczyny do poglądów Turinga

Sprzeciw matematyczny

Opierając się na pewnych wynikach logiki matematycznej można wykazać, że istnieją granice możliwości maszyn o stanach dyskretnych.

Jednym z nich jest twierdzenie Gödla (1931): W każdym systemie logicznym można zbudować stwierdzenia, których prawdziwości lub fałszu nie można w tym systemie rozstrzygnąć. Np.: „Zdanie, które w tej chwili mówię, jest fałszywe.”

- **Turing:** *To czego jedna maszyna nie mogłaby zrobić, być może mogłaby inna pracująca w innym systemie formalnym.*
- **Turing:** *Chociaż ustalono, że istnieją granice możliwości każdej maszyny, to bez dowodu twierdzi się, że żadne takie ograniczenia nie stosują się do człowieka.*
- **Turing:** *Za każdym razem, gdy zadać maszynie pytanie w stylu Gödla, to udzielona odpowiedź musi być błędna. To daje nam złudne uczucie wyższości. Ludzie sami zbyt często myślą się odpowiadając na trywialniejsze pytania.*
- **Turing:** *Obstający przy sprzeciwie matematycznym na ogół przyjęliby grę w naśladownictwo za podstawę dyskusji. Wierzących w dwa poprzednie sprzeczyny prawdopodobnie nie interesują żadne kryteria.*

Sprzeciw do poglądów Turinga

Sprzeciw świadomości

Prof. Jefferson (1949): „(...) Dotąd nie będziemy mogli zgodzić się z poglądem, że maszyna jest równa mózgowi, dopóki maszyna nie potrafi napisać sonetu lub skomponować koncertu dzięki odczuwanym myślom i emocjom, a nie dzięki szansie natrafienia na odpowiednie symbole, to znaczy potrafi nie tylko napisać je, ale i wiedzieć, że je napisała. Żaden mechanizm nie może odczuwać (a nie jedynie sztucznie sygnalizować — łatwy fortel) przyjemności ze swojego sukcesu, zmartwienia, gdy jego lampy się topią, nie może podniecać się pochlebstwem, itp.(...)”

- **Turing:** Według skrajnej postaci tego rozumowania jedynym sposobem upewnienia się, że maszyna myśli jest **być** maszyną i odczuwać, że się myśli. Można by to wtedy ogłosić to światu, ale nikt przecież (w świetle tego rozumowania) nie musi nas wziąć poważnie.
- **Turing:** Podobnie, jedynym sposobem przekonania się, że inny człowiek myśli, jest być nim. W sensie logicznym jest to pogląd słuszny, ale utrudnia komunikację na zasadzie: A jest przekonany, że A myśli, ale B nie myśli; B jest przekonany, że B myśli, ale A nie myśli. Zamiast spierania się, przyjmuje się grzecznościową konwencję, że każdy myśli.
- **Turing:** Prof. Jefferson prawdopodobnie byłby skłonny przyjąć „grę w naśladownictwo” niż powyższą skrajność.

Sprzeczności do poglądów Turinga

Sprzeczności różnych niemożności

„Zgadzam się, że można zrobić maszyny, wykonujące to wszystko, o czym do tej pory mówiono, ale nie można zrobić maszyny, która zrobiłaby X”. I w miejsce X wstawiane są różne czynności, cechy np.: być uprzejmym, pomysłowym, mieć poczucie humoru, odróżniać dobro od zła, robić błędy, lubić truskawki ze śmietaną, być przedmiotem własnej myśli.

- **Turing:** Większość tych twierdzeń jest niczym nie poparta i bierze się z błędnej indukcji. Człowiek widział wiele poszczególnych maszyn (brzydkie, szare, do ograniczonego celu, itd.) i wyciąga błędne ogólne wnioski.
- **Turing:** Jedynym ograniczeniem na większość z wymienianych czynności jest pamięć maszyny.
- **Turing:** Zarzut niemożności popełniania błędów jest nieprawdziwy. Maszyna grająca w naśladownictwo wręcz musi popełniać zaprogramowane i losowe pomyłki, żeby nie zostać zdemaskowaną.

Sprzeczności do poglądów Turinga

Sprzeciw lady Lovelace

Hrabina Lovelace (1842): „(...) Maszyna nie rości sobie pretensji do oryginalności. Może wykonać dokładnie tylko to, co wiemy, w jaki sposób zlecić jej do wykonania(...)”. Dodatkowy sens zarzutu jest taki, że projektant inteligentnego systemu jest w stanie przewidzieć wszystkie konsekwencje tego systemu. Maszyna nie może nas zaskoczyć.

- **Turing:** Twierdzenie, że maszyny mogą robić tylko to, do czego są zaprogramowane jest bez wątplenia oczywiste i prawdziwe. Ale nie jest podstawą ani dowodem wyciąganych z niego błędnych wniosków.
- **Turing:** Człowiek może tworzyć, komponować, uczyć się, dlatego że biologiczny program, w który jest wyposażony, ma funkcje: adaptacji, możliwości zmieniania samego siebie (programu), itp. w wyniku obserwacyjnej interakcji z otoczeniem.
- **Turing:** Jest oczywistą nieprawdą, że projektant jest w stanie przewidzieć wszystkie konsekwencje programu, dowolnie odległe np. po milionach operacji, za pomocą urządzenia, które ma pod swoją czaszką.
- Przykłady: sztuczne życie Conwaya, programy z zakresu teorii chaosu, programy szachowe zaskakujące projektujących je arcymistrzów.

Sprzeczności do poglądów Turinga

Sprzeciw wypływający z pozazmysłowej percepcji

Jeżeli uznać (potwierdzone statystycznie) istnienie telepatii, to można by powiedzieć: zagrajmy w naśladownictwo, biorąc jako graczy maszynę i człowieka, który jest dobrym odbiornikiem telepatycznym. Pytający mógłby wtedy pytać np. „jakiego koloru jest karta, którą trzymam w ręce?”. I człowiek odpowiadałby częściej poprawnie niż maszyna.

- **Turing:** Silny argument. Ogólnie telepatia utrudnia wiele podejść naukowych.
- **Turing:** Możliwe rozwiązanie, to umocnić grę w naśladownictwo obostrzeniem o pokojach „szczelnych telepatycznie” (w podobnym rozumieniu jak pokoje dźwiękoszczelne) — co wypełnia postulat o ostrym oddzieleniu fizyczności i intelektu w tym eksperymencie.

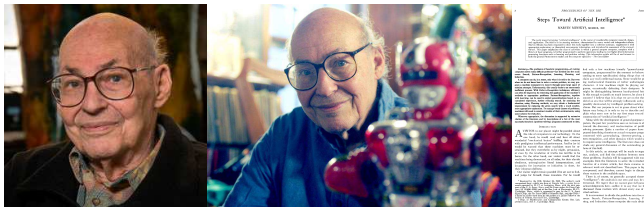
Szachowy test Turinga

- **Wersja pierwsza:**
Człowiek rozgrywa partię szachową z nieznanym przeciwnikiem i ma rozstrzygnąć, czy jest to też człowiek czy maszyna.
- **Wersja druga:**
Człowiek rozpatruje rozegraną partię szachową pomiędzy nieznanymi przeciwnikami i ma rozstrzygnąć co do każdego z nich: człowiek czy maszyna.
- Garri Kasparov zdaje szachowy test Turinga w wersji drugiej ze skutecznością ponad 80%.

Spis treści

- 1 Przykłady problemów w ramach SI
 - Przeszukiwanie drzew gier
 - Przeszukiwanie grafów
 - Problemy optymalizacji
 - Problemy decyzyjne, wyboru strategii
 - Problemy rozpoznawania wzorców
 - Problemy eksploracji danych
 - Problemy regulacji i sterowania
 - Problemy z zakresu sztucznego życia
- 2 Czy maszyny mogą myśleć?
 - Poglądy Turinga
 - Poglądy Minsky'ego

Na drodze do sztucznej inteligencji



Marvin Lee Minsky (1927–2016)

- **M. Minsky, "Steps Toward Artificial Intelligence", *Proceedings of IRE*, 1961.**

[<http://ieeexplore.ieee.org/document/4066245>]

- Polski przekład: „*Na drodze do stworzenia sztucznej inteligencji*” m.in. w (Feigenbaum i Feldman, 1963).
- Zgadza się z poglądami Turinga.
- Według Minsky'ego nie istnieje jedna ogólnie przyjęta teoria inteligencji.
- Wyróżnia 5 głównych działów: **poszukiwanie**, **rozpoznawanie obrazów**, **uczenie się**, **planowanie** i **indukcję**.

Uwagi Minsky'ego

O problemie poszukiwania:

- **Minsky:** Jeżeli dla jakiegoś problemu znamy sposób sprawdzenia poprawności proponowanego rozwiązania, to zawsze możemy próbować przeglądać różne rozwiązania.
- **Minsky:** Z pewnego punktu widzenia problemy przeszukiwania mogą wydawać się trywialne. Można np. pomyśleć o drzewie gry w szachy. Jest ono na pewno skończone! Każdy stan końcowy (liść) jest wygraną białych, czarnych lub remisem. Propagując to minimaxową procedurą w górę drzewa, stan początkowy także otrzymuje jedną z tych wartości. W tym sensie drzewo szachów może wydawać się nieciekawe tak jak drzewo gry „kółko i krzyżyk”.

Uwagi Minsky'ego

O problemie poszukiwania:

- **Minsky:** *Zwykle nietrudno algorytm przeszukujący wyczerpująco zaprogramować, ale dla każdego złożonego problemu jest to zbyt nieefektywne, aby móc praktycznie stosować. Co z tego, że mamy program, który nie zdąży się wykonać w czasie trwania naszego życia lub nawet cywilizacji?*
- Samuel (1959) szacuje: warcaby na około 10^{40} stanów, szachy na około 10^{120} stanów. Przyporządkujmy hojnie 1 ns na rozpatrzenie jednego stanu w drzewie gry przez komputer i oszacujmy liczbę potrzebnych stuleci dla warcab:

$$\frac{10^{40}}{\underbrace{10^9 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365.25 \cdot 100}_{\text{liczba ns w 1 stuleciu}}} \geq \frac{10^{40}}{10^9 \cdot 10^2 \cdot 10^2 \cdot 10^2 \cdot 10^3 \cdot 10^2} = \frac{10^{40}}{10^{20}} = 10^{20} \text{ [stuleci]}$$

Uwagi Minsky'ego

O problemie poszukiwania:

- **Minsky:** *Konstrukcyjne udoskonalanie maszyn nie prowadzi do rozwiązania wszystkich problemów.*
- **Minsky:** *Potrzebne są mądre algorytmy prowadzące ukierunkowane poszukiwania, śledzące w pierwszej kolejności stany dające nadzieję na szybsze osiągnięcie rozwiązania i odrzucające możliwości „jałowe”.*
- **Minsky:** *Każda technika, heurystyka mogąca skutecznie zmniejszyć poszukiwania jest wartościowa.*

Uwagi Minsky'ego

Ogólnie o rozwoju sztucznej inteligencji jako dziedziny:

- **Minsky:** *Należy być przekonanym, że wcześniej lub później będziemy konstruowali programy zdolne do rozwiązywania skomplikowanych problemów, wyposażone w kombinacje heurystyk, rekurencji, metod przetwarzania obrazów, itd.*
- **Minsky:** *Nie należy w żadnym z nich dopatrywać się miejsca na inteligencję. To raczej kwestia estetyki niż nauki.*
- **Minsky:** *Każda maszyna zdolna do 100% introspekcji będzie musiała dojść do przeświadczenia, że jest tylko maszyną.*
- **Minsky:** *Wprowadzanie dualizmu ciała / umysł na zasadzie aspektów psychologicznych, społecznych, itp. wynika tylko z tego, że niezadawalający jest znany dotychczas model mechaniczny mózgu czy innej maszyny.*
- **Minsky:** *Na niskim poziomie np. mechanicznym lub programistycznym, mamy tylko reguły: „jeżeli ... to ...” — trudno tu o zachwyt. Podobnie w matematyce, gdy tylko dowód twierdzenia stanie się zrozumiały, to treść twierdzenia wydaje się trywialna.*