

Sztuczna Inteligencja

4.2 Gry i programy oparte na szukaniu

Włodzisław Duch
Katedra Informatyki Stosowanej UMK
Google: Wlodzislaw Duch

Co będzie

- Algorytmy szukania w grach.
- Gry planszowe: warcaby, Othello, szachy, go.
- Szukanie i ludzkie myślenie.
- Paradoksy kognitywne.
- Reprezentacja wiedzy ...

Gry

Gry były dobrym polem do testów dla metod szukania w AI.

Prosta reprezentacja: stany, operatory, strategie szukania,
prosty cel: znaleźć najlepsze posunięcie.

Problemy:

- niepewność związana z ruchem przeciwnika;
- duża przestrzeń szukania.

Przez długi okres było mało pieniędzy na badania i rozwój programów do gier, z wyjątkiem szachów. Obecnie gry komputerowe są tu siłą napędową.

Symulatory do gry w szachy zyskały popularność.

Wyzwaniem AI stało się osiągnięcie mistrzostwa w szachach. Symulatory do gry w szachy zyskały popularność. Alex Bernstein stworzył pierwszy program szachowy już w 1958 roku, był słaby.

[International Computer Games Association](#) (ICGA) organizuje olimpiady gier komputerowych, np. Abalone, do Surakarta; szachy, go, othello i shogi.

Kompromis pamięć/złożoność ocen.

Strategia Minimaxu

Teoria gier: von Neumann, Morgenstern 1944

Oponenci w grze: Min i Max – zaczynający.

1. Utwórz drzewo dla gry do maksymalnej głębokości, na jaką cię stać.
2. Oceń wartości f. heurystycznej poczynając od liści.
3. Cofnij się o jeden poziom i dokonaj ocen znajdujących się tam węzłów.
4. Po osiągnięciu korzenia wybierz decyzję maksymalizującą zyski.

Jest to decyzja min-maks: dla skończonych drzew kompletna, dla racjonalnych oponentów najlepsza.

Utwórz tak duże drzewo, na ile starczy czasu.

Złożoność $t \sim O(b^m)$, pamięć $O(bm)$ przy szukaniu w głąb.

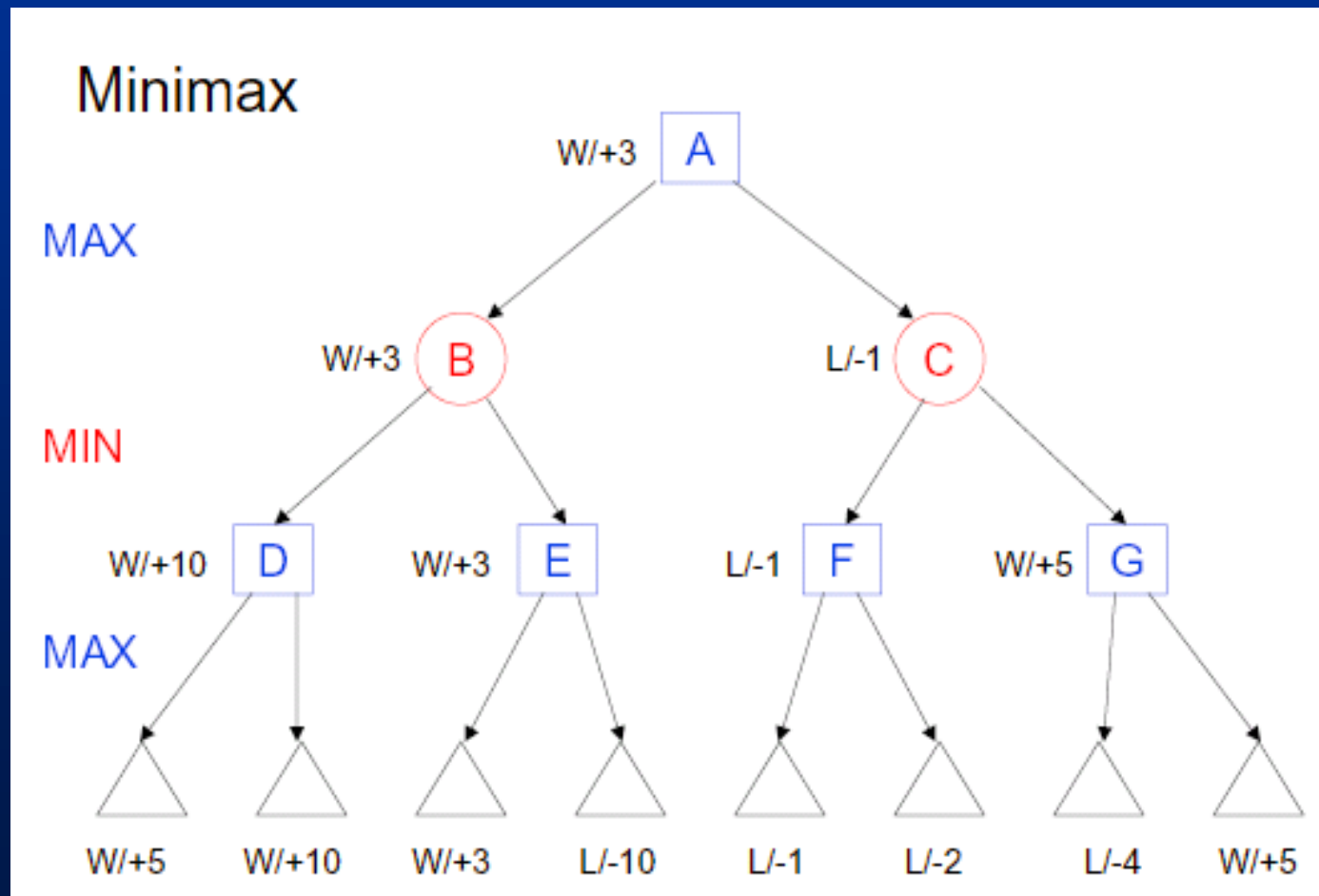
Przykład mini-maxu

Którą drogę warto wybrać?

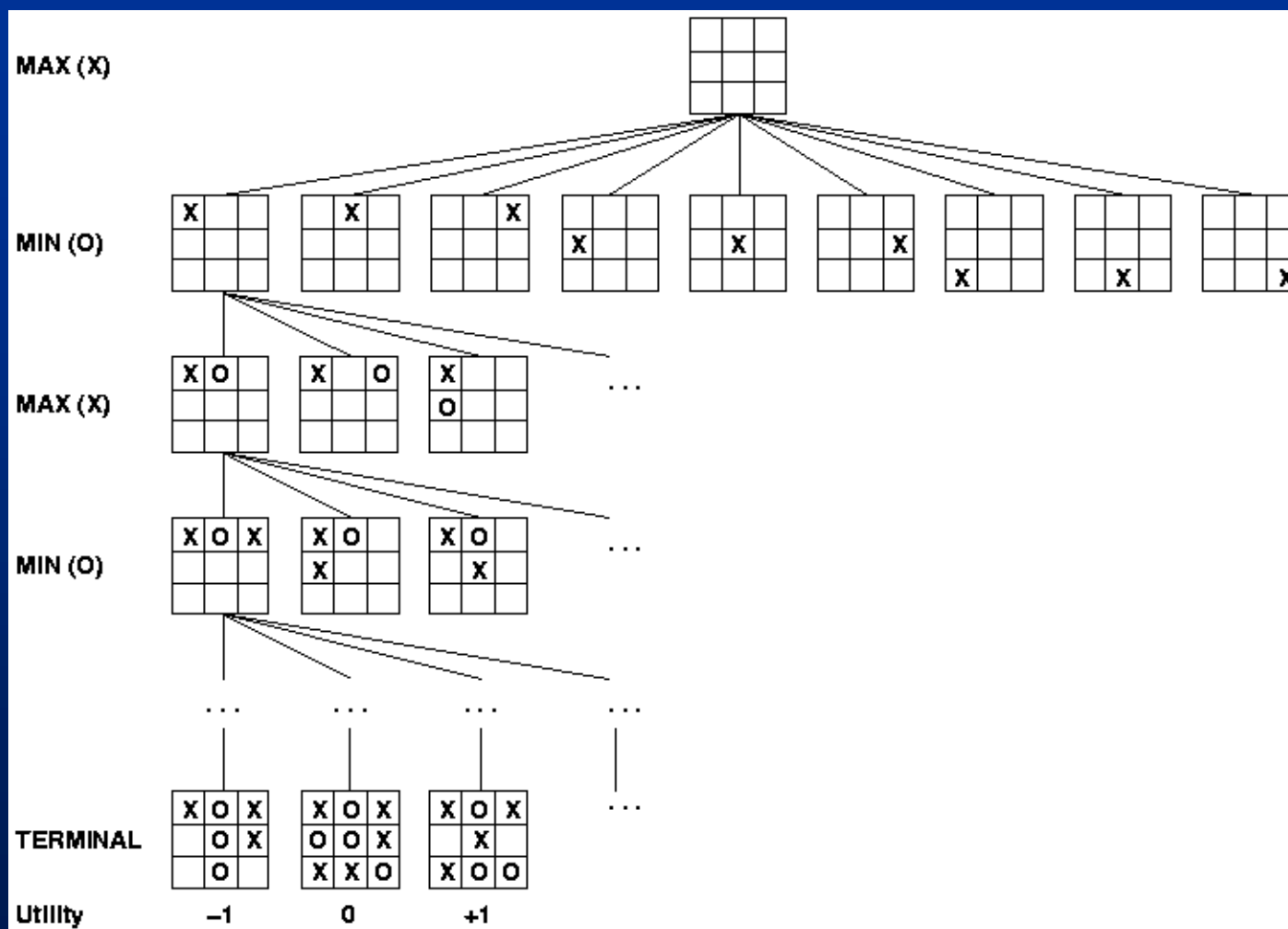
Oceniamy liście i cofamy się do góry przenosząc najwyższe lub najniższe oceny na węzły z ruchami dla MAX i MIN.

MAX powinien przejść do sytuacji B, skąd ma szansę dotrzeć do węzła Win/+10, ale MIN zredukuje ją do W/+3;

wyбір przejścia do C daje MIN szansę zredukowania uzyskania przewagi o 1 punkt, czyli L/-1.



Kółko i krzyżyk



Strategia i oceny złożoności.

Heurystyki oceny

- Koszty materialne: pionek =1, skoczek=3, goniec=3, wieża =5, hetman=9 ...
- Pozycja figur: dla każdej konfiguracji inne oceny, np. pionek w pobliżu końcowego pola jest dużo ważniejszy niż pionek zablokowany.
- Ocena następnego ruchu, zagrożeń dla poszczególnych figur.
- Złożone oceny konfiguracji wielu figur.
- Kombinacja liniowa różnych elementów oceny f_i z wagami W_i

$$E(f) = \sum_i W_i f_i$$

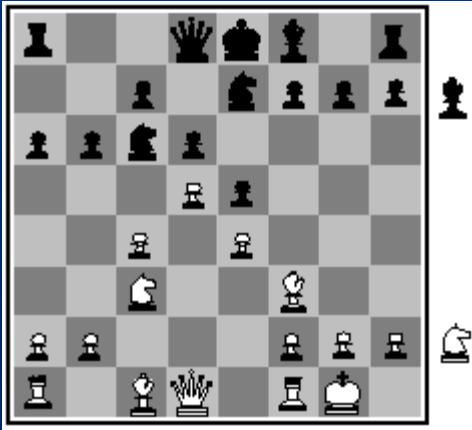
Współczynniki W_i dobiera się tak, by maksymalizować zyski.

Nieliniowe funkcje oceny mogą dać lepsze rezultaty – uczenie NN.

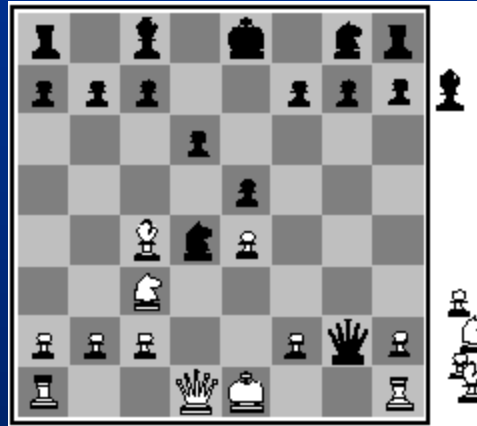
Precyzyjne wartości f_i nie mają znaczenia - liczy się tylko względny porządek, jest to więc „porządkowa funkcja kosztu”.

Przykłady ocen

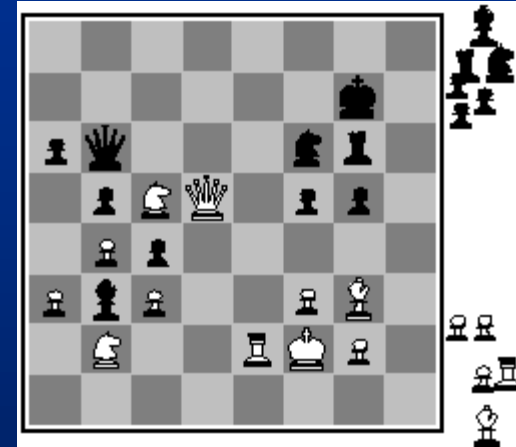
- Ludzie oceniają jakościowo, wystarczają względne porównania.
- Na podstawie doświadczenia tworzy się złożone funkcje oceny.



Ruch czarnych
Przewaga białych



Ruch białych
Czarne wygrywają



Ruch czarnych
Białe bliskie przegranej

Obcinanie alfa-beta

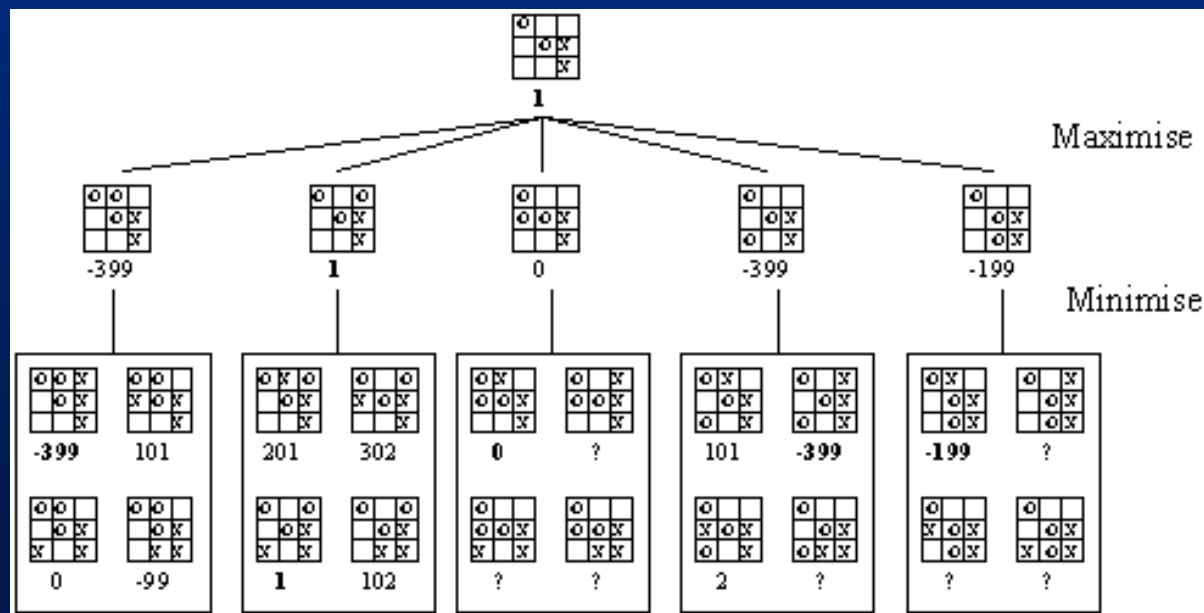
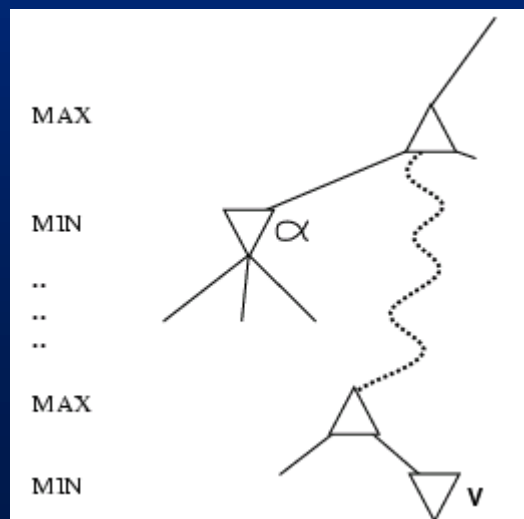
Technika pozwalająca oszczędzać czas w algorytmie min-max, obcinając gałęzie, które nie mają wpływu na końcowy wybór.

α - najlepsza wartość dla MAXa dla kolejnych kroków;

porzuć V jeśli masz lepsze wartości α w innej części grafu (dla MAX);

β - najlepsza wartość dla MINa dla kolejnych kroków;

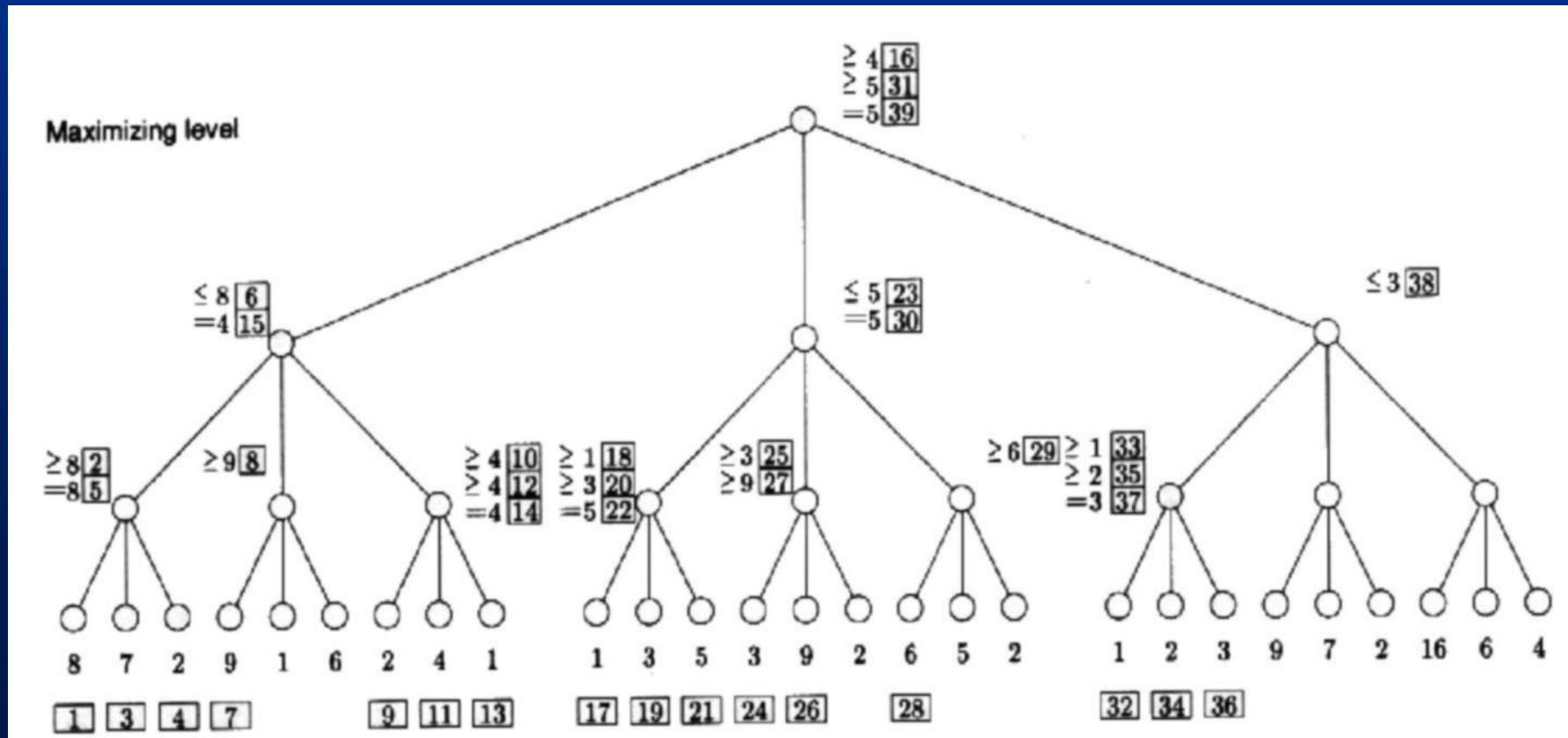
oszczędność w najlepszym razie $t \sim O(b^{m/2})$



Przykład α - β

Kolejność odwiedzanych węzłów jest w kwadratach, a wartości f. heurystycznej obok. Alfa robi tu dwa ruchy, Beta jeden.

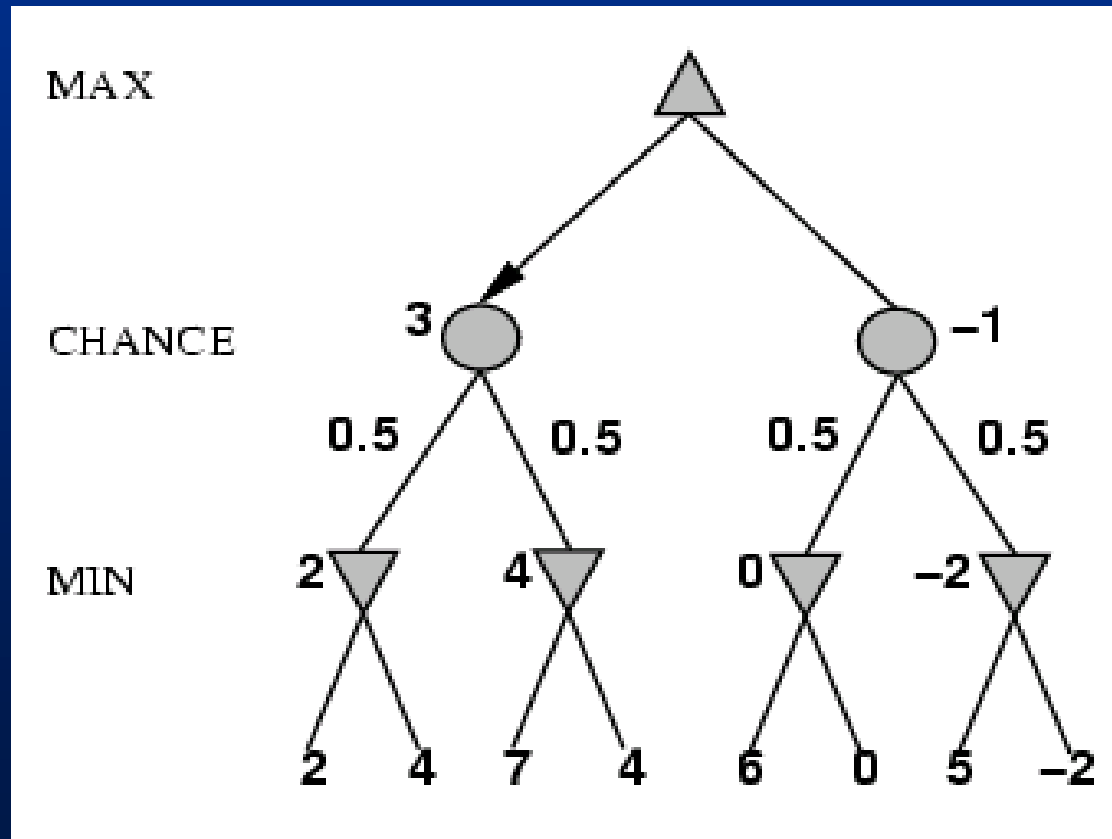
W1 na najniższym poziomie ma $f=8$, więc węzeł 2 ma $f \geq 8$; po węzłach 3 i 4 zostaje $f=8$; dla Beta węzeł powyżej ma $f \leq 8$, po sprawdzeniu W7 jest $f=9$, więc pozostałe są pomijane. W prawej gałęzi Alfa ma $\max f=4$, więc na tyle może liczyć MIN w W14.



Gry niedeterministyczne

Strategia min-max połączona z oceną probabilistyczną szans na generowanie kolejnego ruchu.

Obcinanie α - β można stosować ale staje się znacznie mniej efektywne, wzrasta liczba możliwych rozgałęzień.



Warcaby

- 1952, Samuel, pierwszy program uczący się gry w warcaby.
- 1992, Chinook (J. Schaeffer, UoA) wygrywa US. Open.
Program używa szukania α - β
- Mistrzostwa człowiek-maszyna, Londyn 1992

Dr. Marion Tinsley, wygrał z Chinookiem 4-2, 33 remisy.

Użyto 8-proc. stacji Silicon Graphics 4D/480, 40 Mhz, 256 MB RAM, 128 Mflop. Baza danych wszystkich końcówek z 1-7 figurami + prawie połowa wszystkich partii z 8 figurami.

- 1994, remis 1-1 i 18 remisów.
- 1995, wygrana Chinooka 1-0 i 31 remisów.

Użyto stacji roboczej SGI z 512 MB RAM.

- W 2007 roku udowodniono, że najnowsza wersja Chinook nie może przegrać partii, warcaby uznano więc za w pełni rozwiązane.

Trik-trak, Othello

- Trik-trak (backgammon), popularny w Japonii.
Zawiera element niepewności (rzut kostką).
- 1980, program BKG wygrał raz z mistrzem świata.
- 1992, program Tesauro, techniki jak dla warcabów + uczenie się (sieć neuronowa) lepszych ocen, ranking wśród 3 najlepszych graczy.
- 1995, Logistello zwycięża mistrza świata Takeshi Murakami 6 do 0!
Program grał parę tygodni sam z sobą poprawiając swoje funkcje oceny heurystycznej.
- Mistrzowskie rezultaty w wielu grach osiągnięto dopiero w latach 1990.
- Moc obliczeniowa to warunek konieczny, ale nie wystarczający ...

Szachy – ogólnie

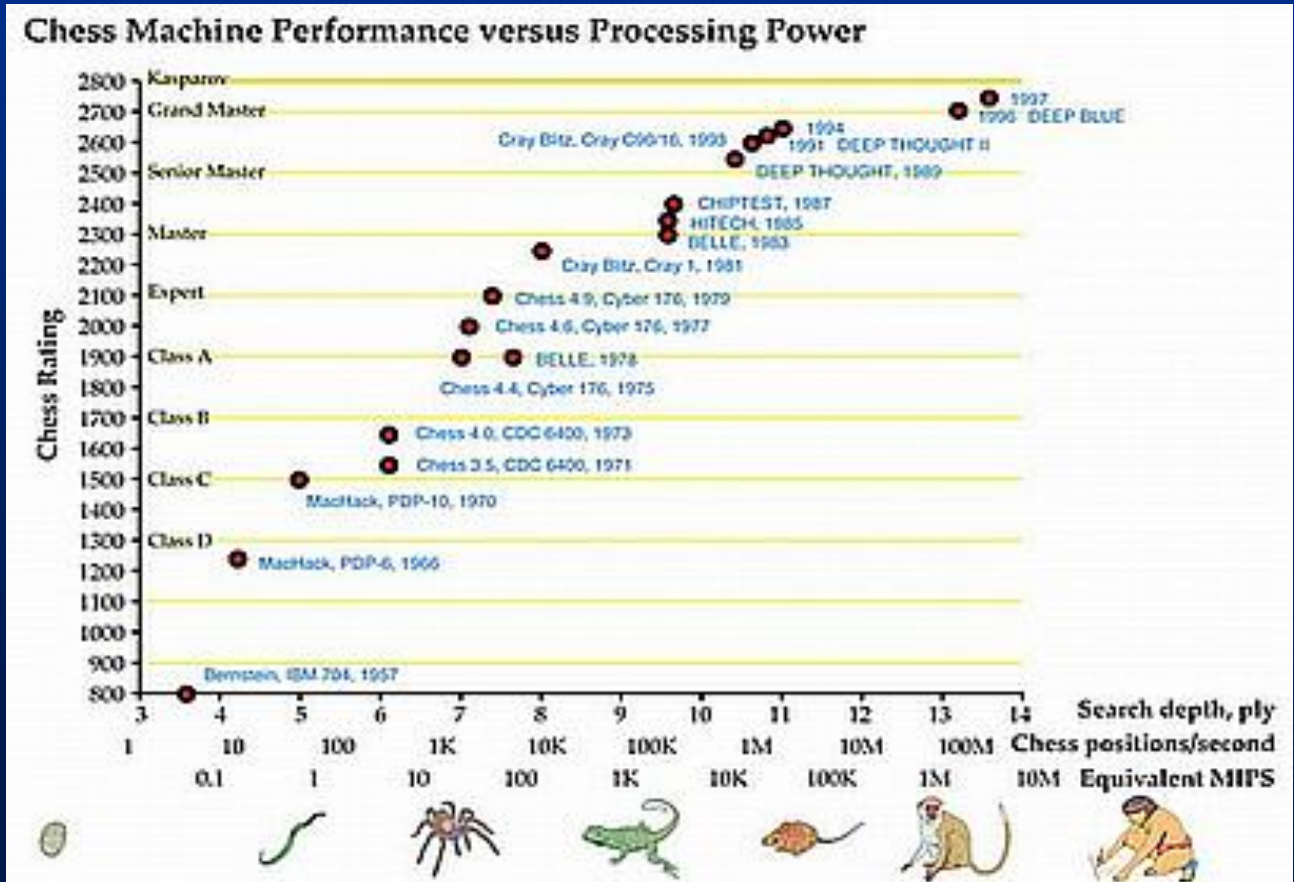
Statyczna i dynamiczna ocena sytuacji na planszy:
liczba figur, wartość figur, położenie figur, możliwości ruchów.

Heurystyczna funkcja oceny: suma $W_i F_i$
dobierz wagi W_i poszczególnych elementów oceny F_i .

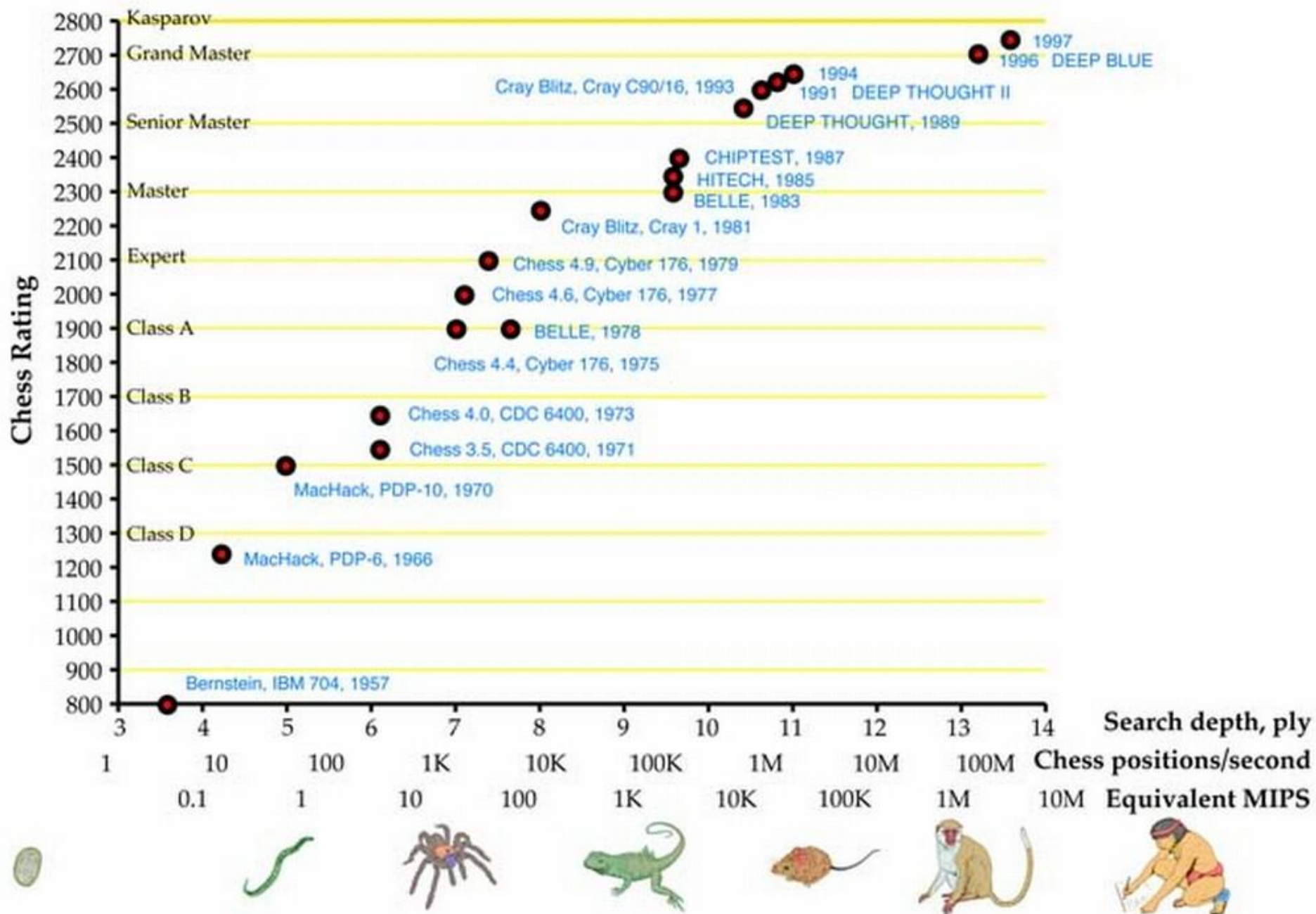
Zależność:

- głębokość szukania,
- liczba ocenianych pozycji,
- moc obliczeniowa w MIPS

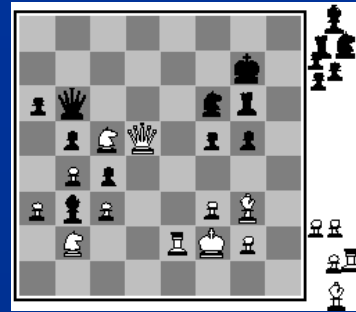
Siła programu mierzona w punktach ELO.



Chess Machine Performance versus Processing Power



Szachy – punkty



Mistrz świata > 2800 punktów. Przewidywana liczba ruchów:
5 pełnych ruchów (10 poziomów) - 1500 punktów.

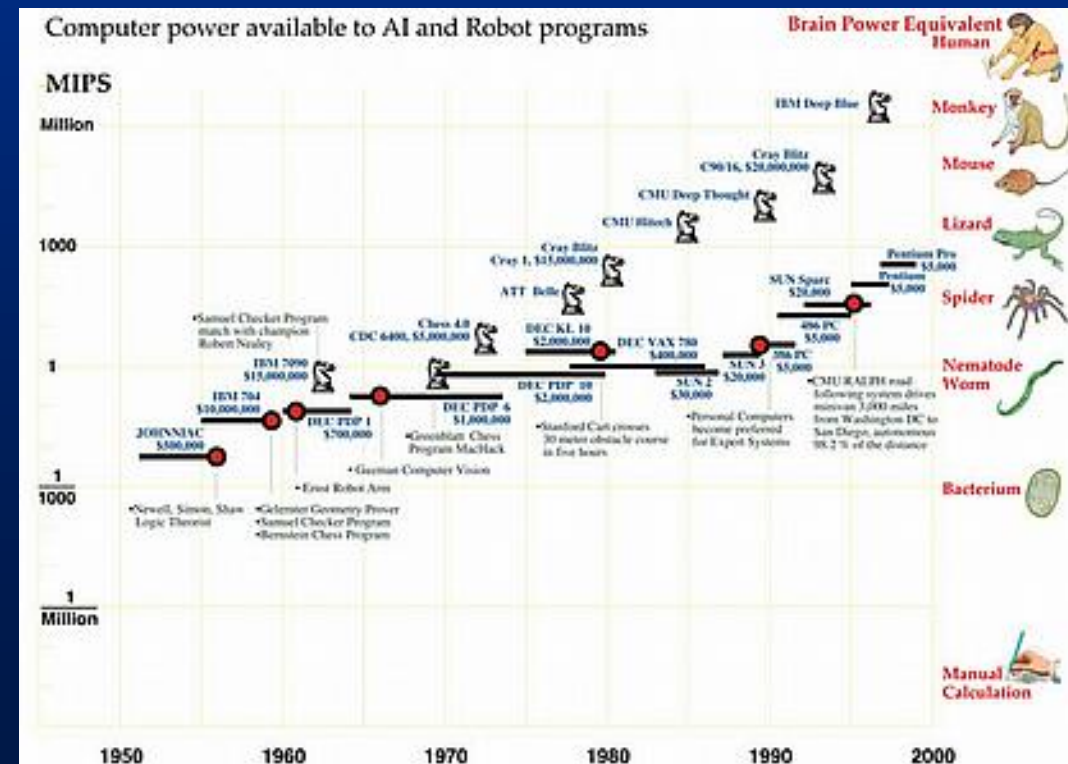
Od 5-10 poziomów mamy 200 p/poziom.

Dla 10 ruchów ok. 2500 punktów.

Ok. 35 ruchów/poziom, heurystyki redukują to do 6/poz,
więc: dla 1000 ocen/sek, 150 sek/ruch, $b=35$,
tylko ok. 3-4 ruchy - nowicjusz.

Potrzebna jest znacznie większa moc obliczeniowa!

Zależność
jakość-szybkość obliczeń.
 $\text{MIPS} = \text{mln op/sek}$



Szachy – punkty

Mistrz świata > 2800 punktów. Przewidywana liczba ruchów:
5 pełnych ruchów (10 poziomów) - 1500 punktów.

Od 5-10 poziomów mamy 200 p/poziom.

Dla 10 ruchów ok. 2500 punktów.

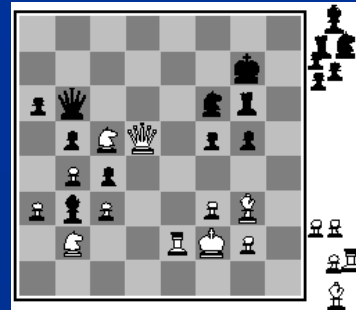
Ok. 35 ruchów/poziom, heurystyki redukują to do 6/poz,
więc: dla 1000 ocen/sek, 150 sek/ruch, $b=35$,
tylko ok. 3-4 ruchy - nowicjusz.

Potrzebna jest znacznie większa moc obliczeniowa!

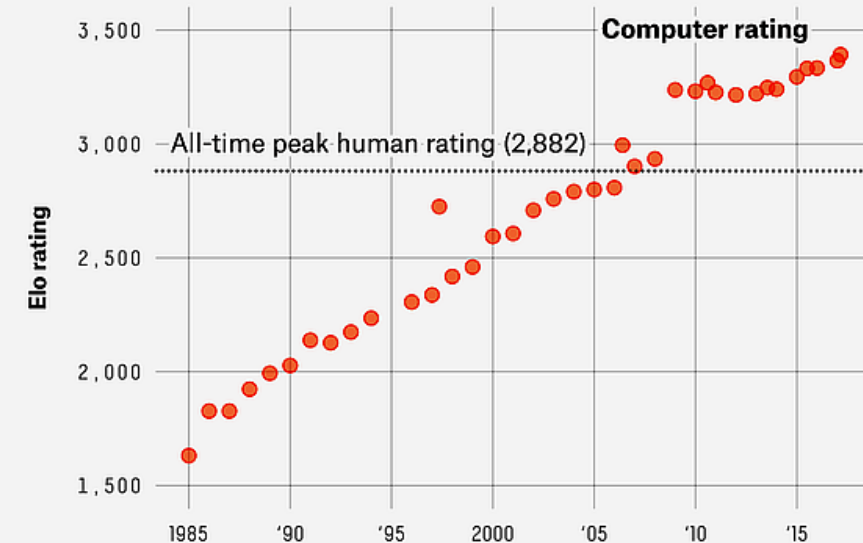
Zależność

jakość-szybkość obliczeń.

MIPS = mln op/sek



Chess computers have been better than humans for years
Elo ratings since 1984



Computer power available to AI and Robot programs

MIPS

Million

1000

1

$\frac{1}{1000}$

$\frac{1}{\text{Million}}$

1950

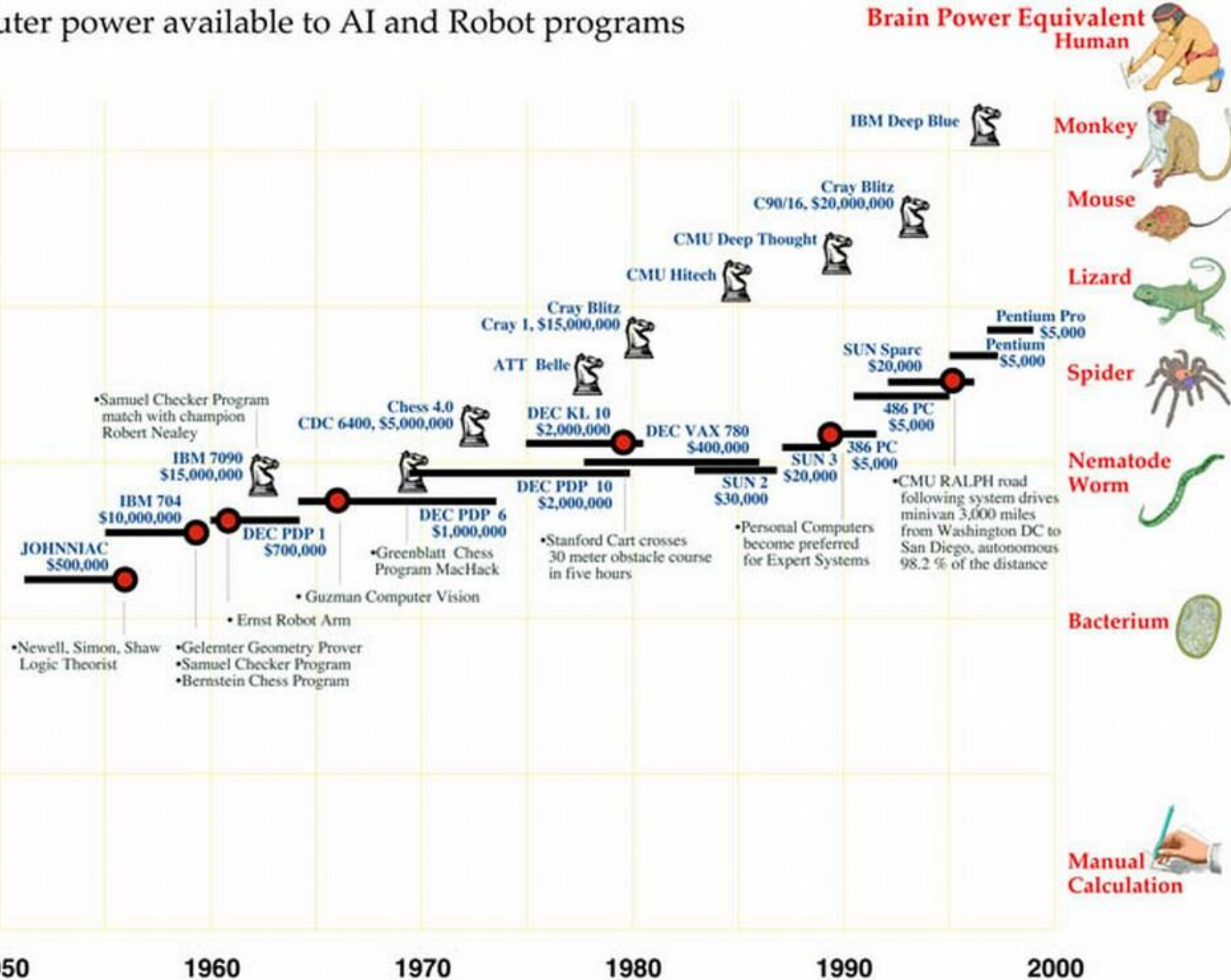
1960

1970

1980

1990

2000



Brain Power Equivalent Human



Monkey



Mouse



Lizard



Spider



Nematode Worm



Bacterium



Manual Calculation



Szachy - historia.

- 1958, pierwszy program szachowy, Alex Bernstein.

Szkocki międzynarodowy mistrz szachowy funduje nagrodę dla programu, który ogra go chociaż raz na cztery partie. W 1985 roku przegrał wszystkie cztery partie.

- 1985, HiTech wśród najlepszych 800 graczy, oceniał ok. 10 mln pozycji, w 1988 roku wygrał z arcymistrzem.

Intel+IBM: szachy to dobra reklama.

- 1994 Chess Genius na PC Pentium, kilka razy zwyciężył Gary Kasparova; czas grania ograniczono do 25 minut na zawodnika.
- 1996 – Deep Blue przegrał z Kasparowem 2:3
- 1997 – Deep Blue wygrał 3.5:2.5
- 2002 – program Deep Fritz na PC remisuje z Vladimirem Kramnikiem

Przez dwa miesiące Kramnik trenował z programem Deep Fritz.

Deep Thought i Deep Blue

Deep Thought, od 1985 roku, 4 studentów z USA
(T. Hsu, T. Anantharaman, M. Campbell, A. Nowatzyk).

Program **Deep Blue** (nowsze **Deep Thought**) + hardware do gry w szachy:
32 procesory IBM RS6000/SP2 + 256 ASIC.

Ocena: ok. 200-1000 milionów pozycji/sek!
Duża biblioteka otwarć i końcówek.

Deep Thought – szukanie z obcinaniem alfa-beta,
przewiduje na ok. 10 ruchów w skomplikowanych sytuacjach.

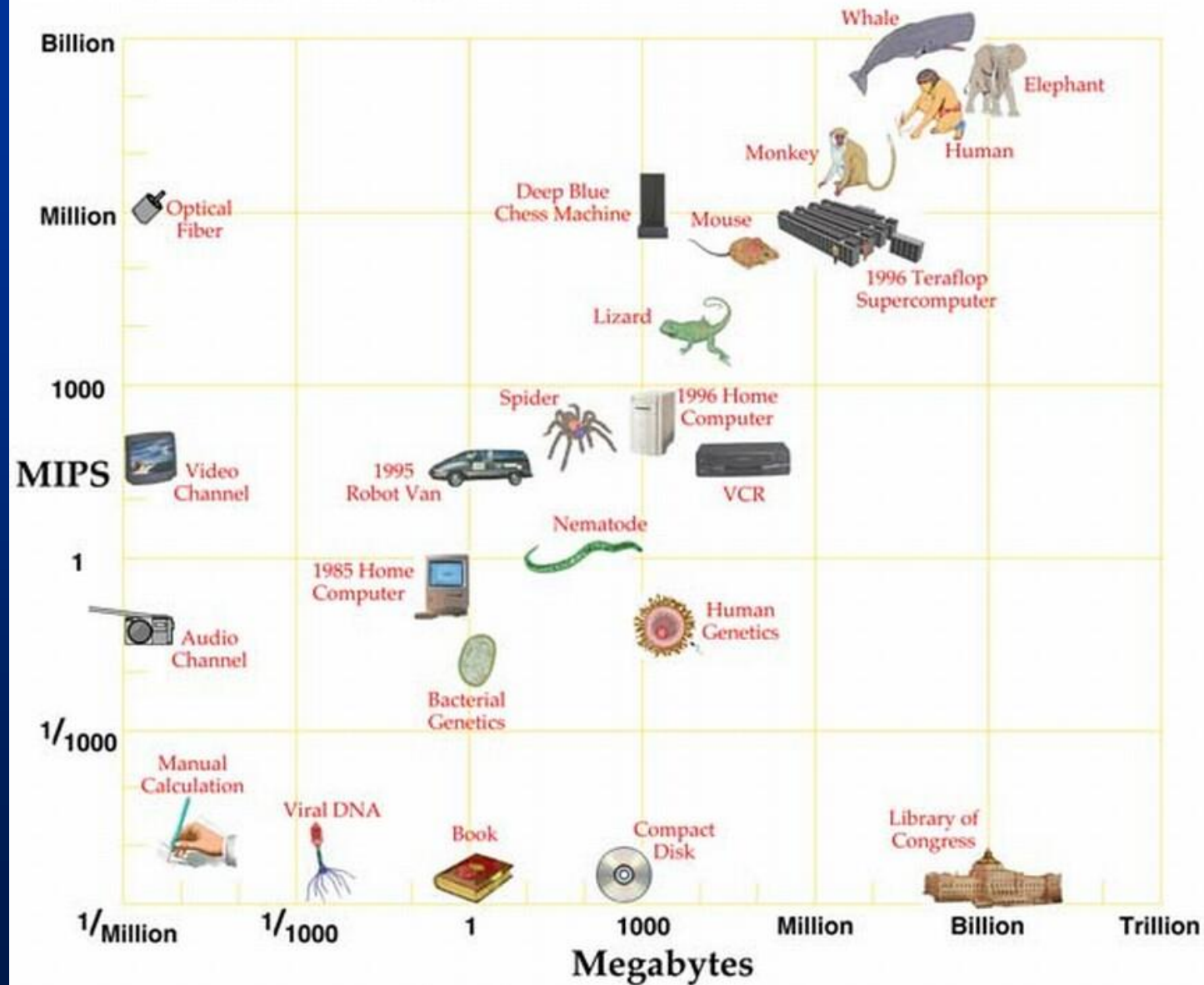
Deep Blue - ok. 14 ruchów, 3000 punktów, pobił Kasparova.

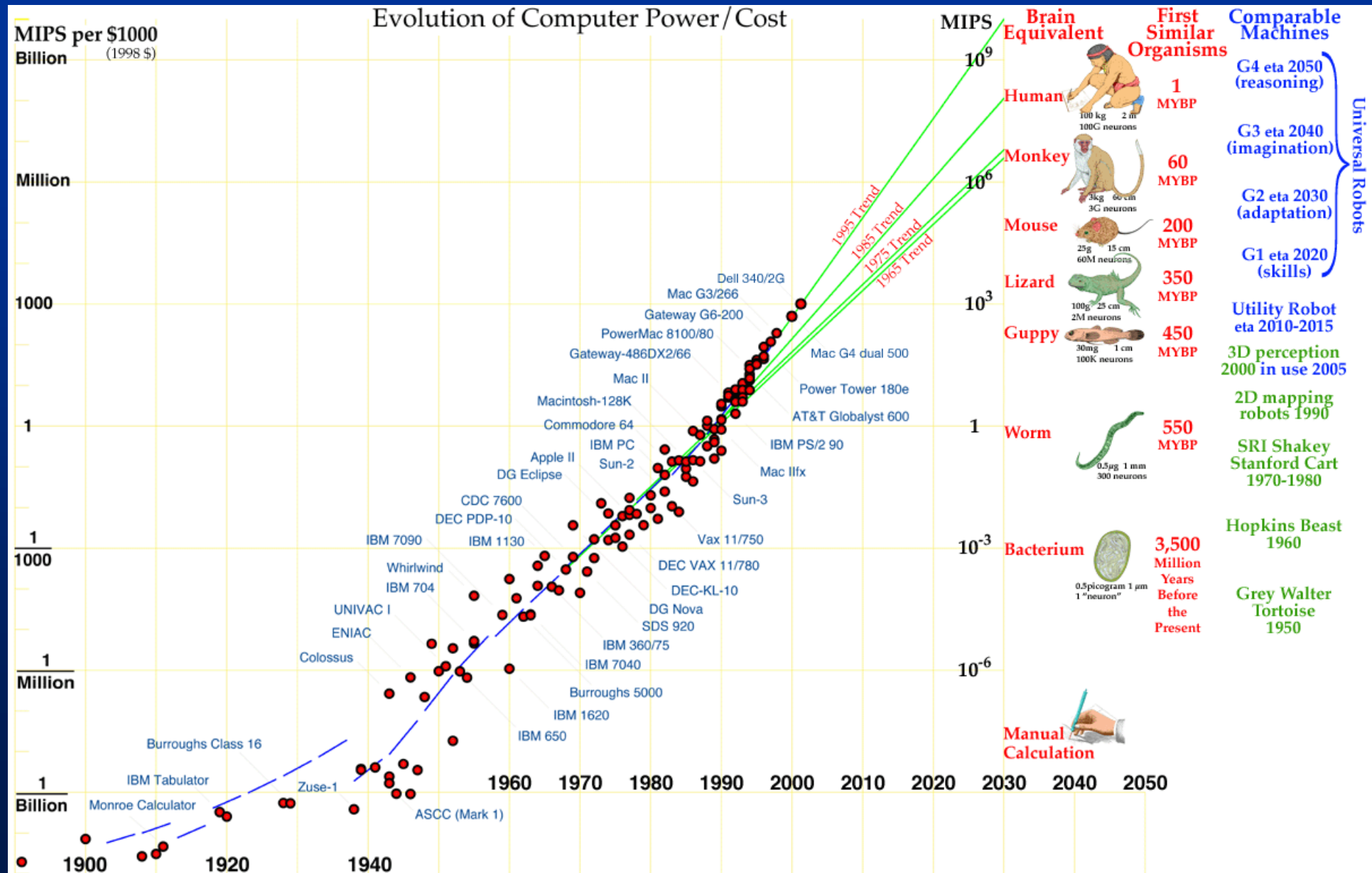
Reakcja prasy – potworna szybkość i pamięć zwyciężyły.

Mózg: 10.000 razy większa pamięć/szybkość więc to uwagi bez sensu!

Moc obliczeniowa nadeszła i będzie coraz większa ...

All Things, Great and Small





Ostatni taki mecz ...

Kasparov vs. X3D Deep Fritz junior.
Nowy Jork, listopad 2003.

Mecz zakończył się remisem; główną atrakcją była gra w wirtualnej rzeczywistości.

Komputer, na którym zainstalowany był program Fritz był około

100 razy wolniejszy niż Deep Blue i do tego zajęty generowaniem obrazu w 3 wymiarach, nic więc dziwnego, że mecz zakończył się remisem.

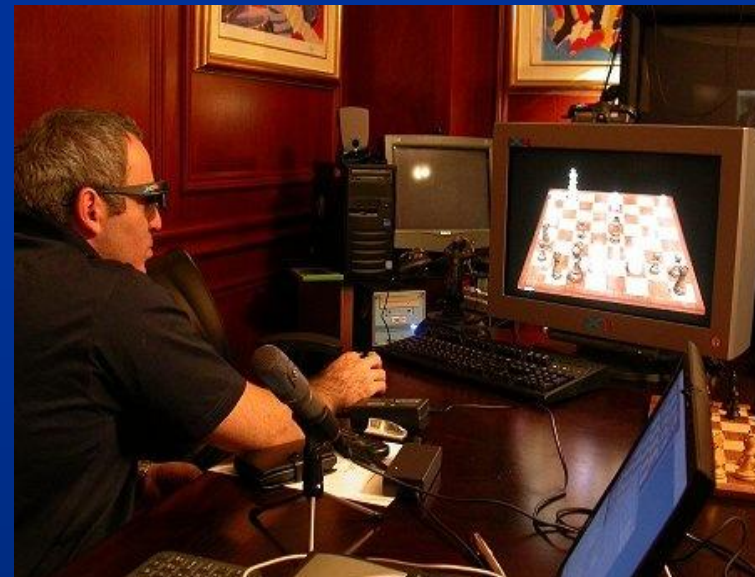
PC stoi w kącie ... następny taki mecz odbędzie się z programem działającym na telefonie? Telefony 2026 są ok. 3000 x szybsze niż Deep Blue.

Najwięcej punktów ELO w historii miał Carlsen 2882 i Kasparov 2851, tylko 4 osoby w historii miały ponad 2830 punktów.

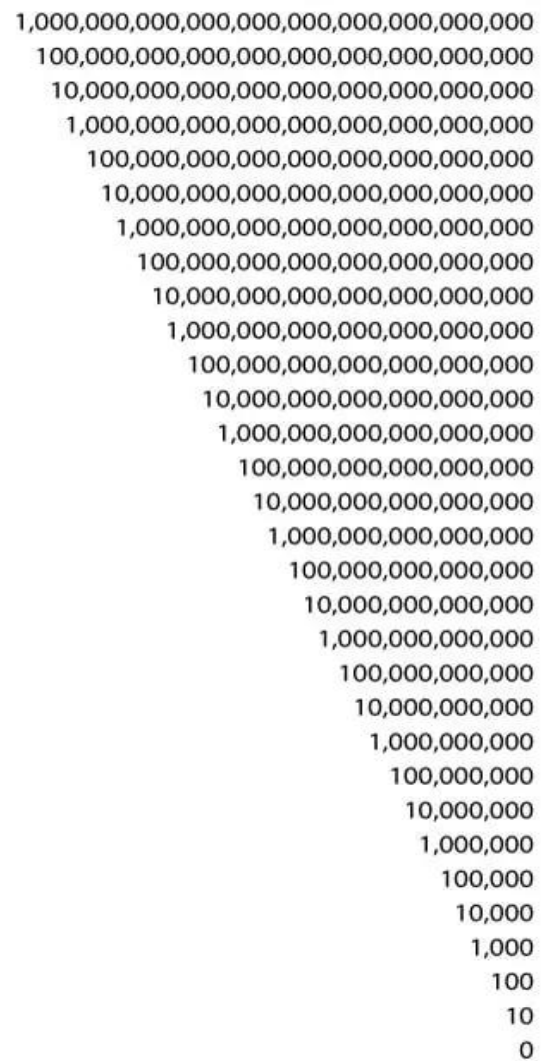
Obecnie: >20 programów ma ELO>3200 punktów, jest kilka z ELO >3500.

Jeden z najlepszych to Stockfish, program Open Source.

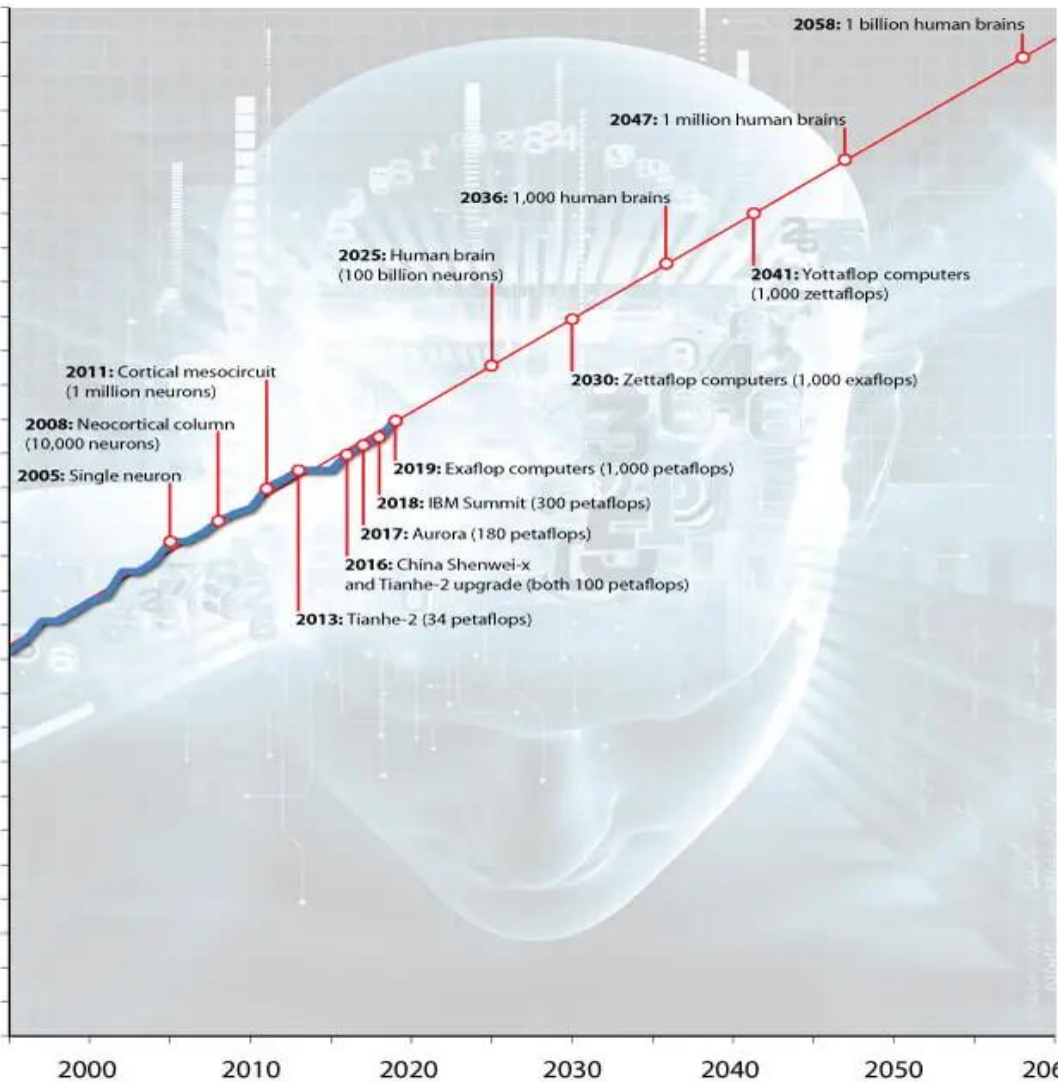
Our world in data - poziom ELO komputerowych programów szachowych.



Eksponencjalny wzrost mocy



Exponential growth of supercomputing power, 1995-2060 (logarithmic scale)



SuperMicro

SuperMicro to najmniejszy program szachowy, 455 bajtów!

And do not think that will be so easy to defeat it!

```
#define f;if(
#define W while(
M=136,C=799,K=8,X,Y;char c[9],b[128]=
"VSUWTUSV";D(k,x,e,n){int i=0,j,t,p,u,r,y,m=
n?-C:e,v;do{f(u=b[i])&k}{j="H?LFICF"[p=r=u&
7]-64;W r=p>2&r<0?-r:64-"01/@AP@ABPOQ@NR_a@"
[++j]){y=i;do{t=b[y+=r]f(p==7|!*c)&&j==8|!(
r&7)-!t&p<3|t&k||y&M)break;v=t&k?8:
"#++;};Kk"[t&7]-35 f v>88)m=C f n){b[i]=0;b[
y]=u f p<3&&y+r+1&128)b[y]=(*c&&c[4]?c[4]:55
)-48|k,v+=M;v=-D(24-k,2,-e-v,n-1);f x&1){f v
+C&&i==X&y==Y){f j==8)b[y+(r>0?1:-2)]=0,b[(i
+y)/2]=6|k;return 0;}v=m;}b[i]=u;b[y]=t f v>
m){m=v f n>4)X=i,Y=y;}}t+=p<5 f x&1&&(y&112
)+6*k==128&p<3)t--;}W!t);}}W i=i+9&~M);
return m;}main(){X=8;W X--){b[X+112]=(b[X]-=
64)-8;b[X+16]=18;b[X+96]=9;}W 1){X=128;W X
--)putchar(X&8&&(X-=7)?10:".?+nkbrq?*?NKBRQ"
[b[X]&15]);gets(c);X=*c-16*c[1]+C;Y=c[2]-16*
c[3]+C f!*c)D(K,0,0,5)f!D(K,1,0,1))K^=24;}}
```

DeepChess

Nowa generacja programów szachowych uczy się sama.

Niektóre programy nie potrzebują nawet reguł, rozpoznają je na podstawie obserwacji.

Stockfish – silnik open-source, oceniany na ok. 3640–3680 ELO w rankingach. Algorytm alpha-beta z wieloma technikami przycinania (null-move, LMR, TT itp.). Pd 2023 używa NNUE (Efficiently Updatable Neural Network), niewielką sieć neuronową do oceny pozycji, która zastąpiła klasyczną „hardcoded” funkcję ewaluacji.

Torch – nowoczesny silnik (często z zamkniętym kodem) w rankingu powyżej 3630 ELO.

Komodo Dragon / Komodo – komercyjny silnik o bardzo wysokim poziomie (ok. 3600+ ELO).

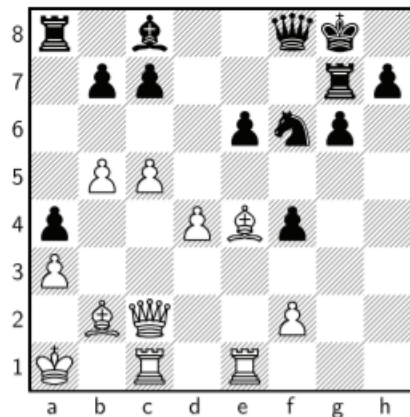
Leela Chess Zero (LCZero) – otwarty, „human-like” silnik oparty na sieci neuronowej i MCTS, z rankingiem ok. 3650 Elo w najnowszych testach.

Inne mocne silniki top-10: Alexandria, Obsidian, Plentychess, Berserk – wszystkie osiągają poziom ponad 3550 Elo, czasem powyżej 3600.

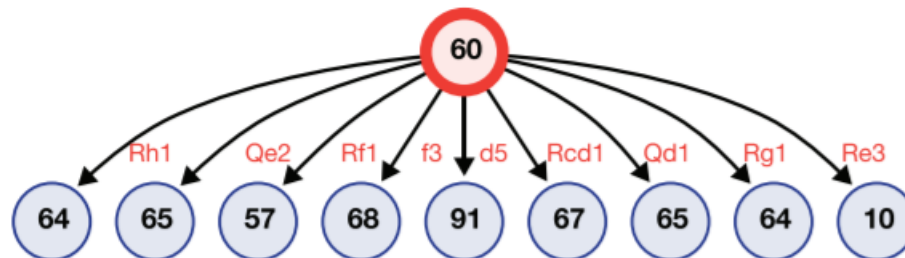
Ten wykres pokazuje obecny poziom komputerowych programów szachowych.

DeepLearning w szachach - czy ogólne modele językowe, takie jak GPT, dobrze grają w szachy?

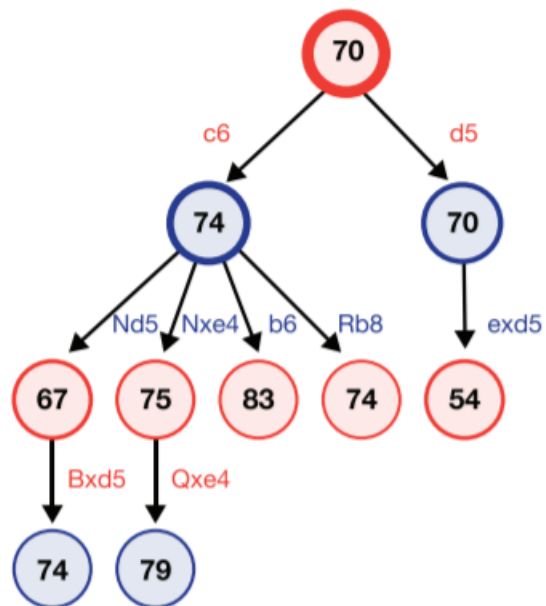
Nie tak jak programy szachowe: GPT-3 konfabuluje i oszukuje, ale GPT-4 radzi sobie nieźle.



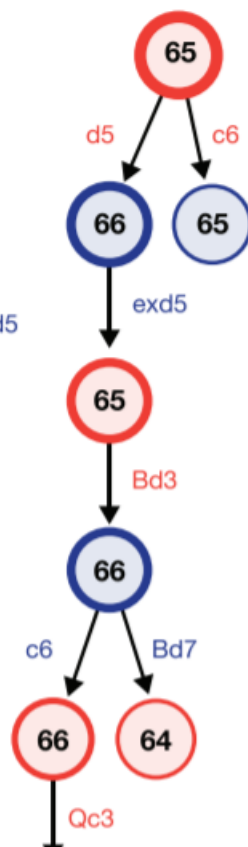
10² Simulations



10³ Simulations



10⁴ Simulations



10⁵ Simulations



10⁶ Simulations



Go: większe wyzwanie

Liczba ruchów w Go to średnio 260 (szachy tylko 35), a liczba różnych partii to 10^{260} (szachy 10^{123}). Obydwie te liczby są bliskie ∞ .

Liczba różnych pozycji na planszy: 10^{172} (szachy 10^{46}).

Techniki szukania są mało przydatne: programy do go były długo słabe na standardowej planszy 19x19, ale na poziomie mistrzowskim na planszach 9x9.

Pierwszy program do gry w Go powstał w 1968 roku.

Ufundowano nagrodę 1 mln \$ dla programu, który pokona mistrza z Taiwanu!

MoGo (Many Faces of Go, Ver. 12) na komputerze 15Tflop, Monte Carlo Tree Search (MCTS), wygrał z mistrzem Myungwan Kim (8 Dan), przy handicapie 9 kamieni. Więcej rezultatów [komputerowego go](#).

Konieczne do dobrego grania w Go jest:

- rozpoznawanie struktur (typ lokalnych konfiguracji),
- reprezentacja relacji przestrzennych, uczenie maszynowe,
- strategie i planowanie, metody reprezentacje wiedzy.

AlphaGo

- Nowe techniki uczenia oparte na głębokich, wielowarstwowych sieciach neuronowych rozwijane są intensywnie znajdując wiele zastosowań i rozwiązując trudne problemy.
- [Google AlphaGo zwyciężył](#) pod koniec 2015 roku z Fan Hui, Europejskim mistrzem Go, 5 razy na 5 partii w warunkach takich jak na turniejach Go.
- Walka z mistrzami Go, Koreańczykiem Lee Sedol, odbyła się w marcu 2016; program wygrywa 4:1, w 2017 z mistrzem świata Ke Jie 3:0. W drugiej grze słynny ruch 37, mamy teraz [manifest Ruchu 37](#), oraz sztukę „AlphaGo_Lee. Teoria poświęcenia”, reż. Natalia Korczakowska w [Teatrstudio.pl](#).
- [AlphaGo](#) jest uniwersalnym programem uczącym się, a nie wyspecjalizowanym programem do gry w Go. Działał na komputerach z 48 jednostkami TPU (Tensor Processing Units).
- Ma 4 elementy: algorytm szukania, symulacje Monte Carlo gier do oceny jakości ruchów; głęboką sieć neuronową (12 warstw), która nauczona została generowania ruchów na podstawie wzorów rozkładów pionków; drugą podobną sieć do oceny pozycji.
- Miesiące treningu na bibliotekach rzeczywistych gier, uczenie z nadzorem połączone z uczeniem strategii z krytykiem (reinforcement learning).

AlphaGo Zero

- [AlphaGo Zero](#) opisany został jesienią 2017 roku, czyli niedługo po zwycięskim meczu z Lee Sidolem.
- Programem jest uproszczeniem oryginalnego: nie ma tu ani procedur szukania ani Monte Carlo, jest tylko jedna ucząca się sieć neuronowa (samouczenie z krytykiem).
- Program działał tylko z 4 TPU, na pojedynczym komputerze, nie korzystał z bibliotek ani wskazówek ekspertów.
- Startując bez żadnej wiedzy o grze w Go (oprócz reguł grania) po 3 dniach grania ze sobą pobił oryginalny program AlphaGo 100:0.

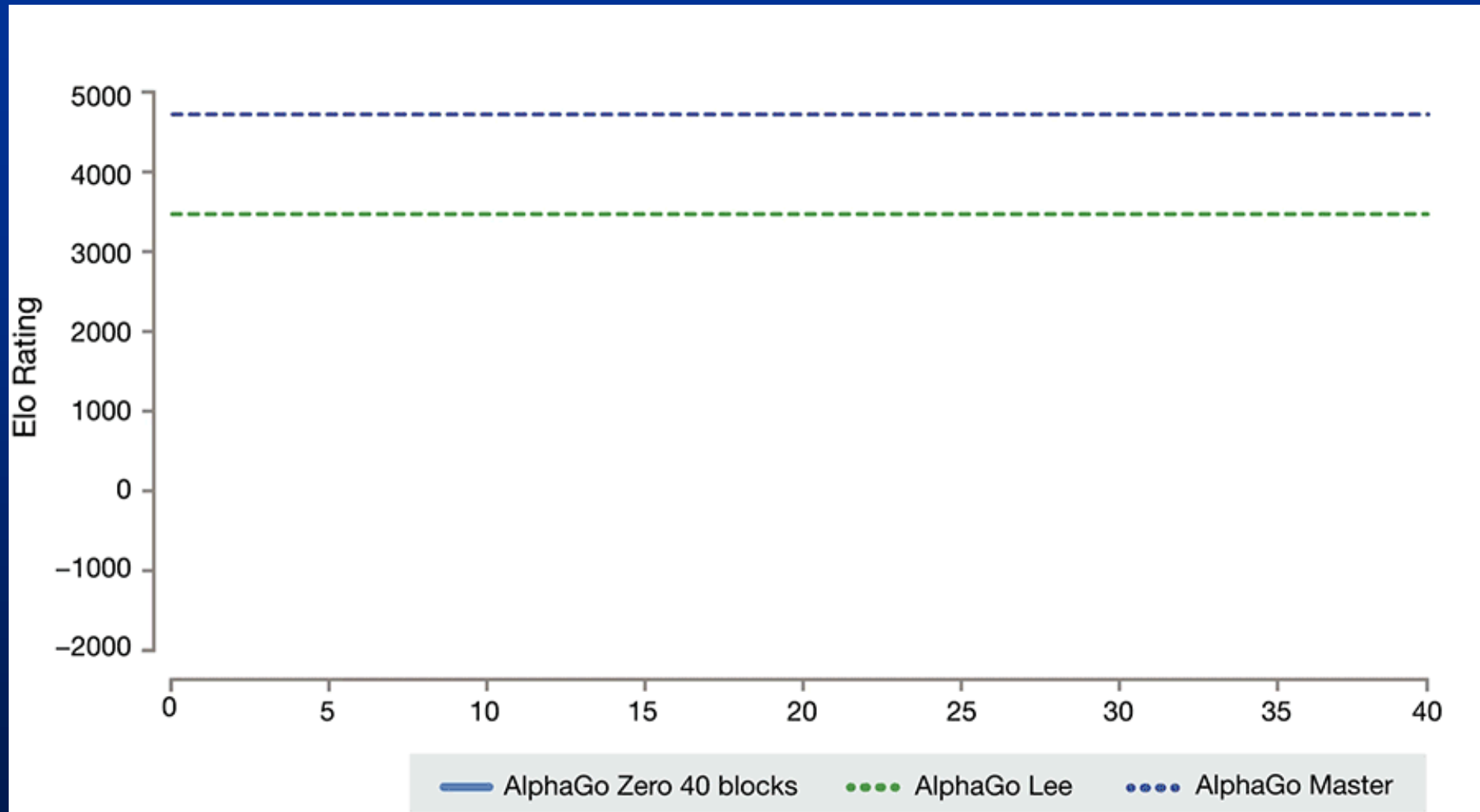
ELO Rating 5185, [najlepszy wynik człowieka](#) Shin Jinseo (Korea) to 3864 ELO.

- Program [Google DeepMind](#) nauczył się grać w 49 różne gry arkadowe.

Transfer wiedzy pomiędzy różnymi grami jest jednak nadal słaby.

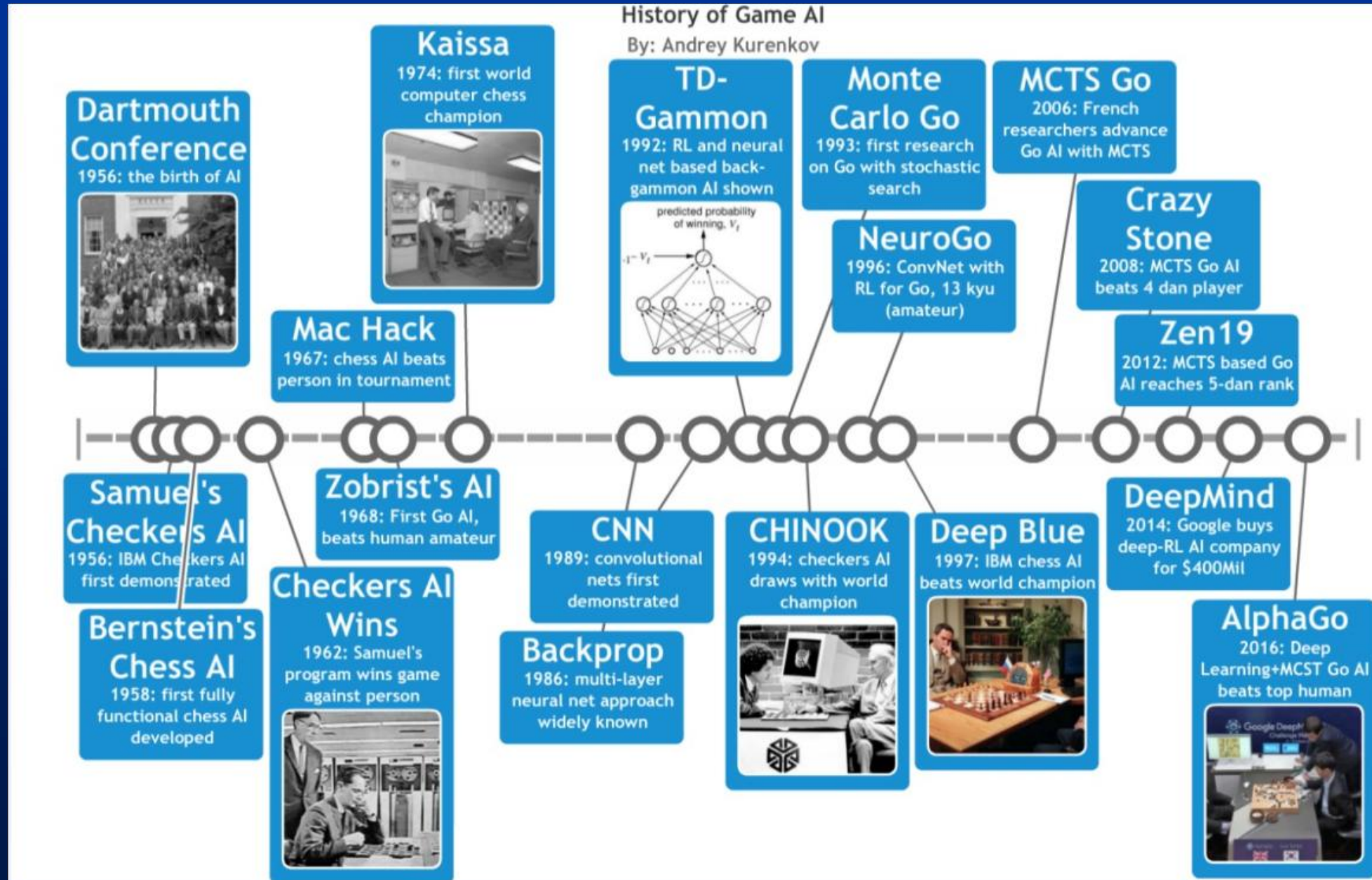
To jedna z ostatnich barier by stworzyć uniwersalny system AI.

AlphaGo zero czyli od 0 do mistrza!



Program gra ze swoją kopią i poprawia swoje funkcje heurystyczne

Historia gier



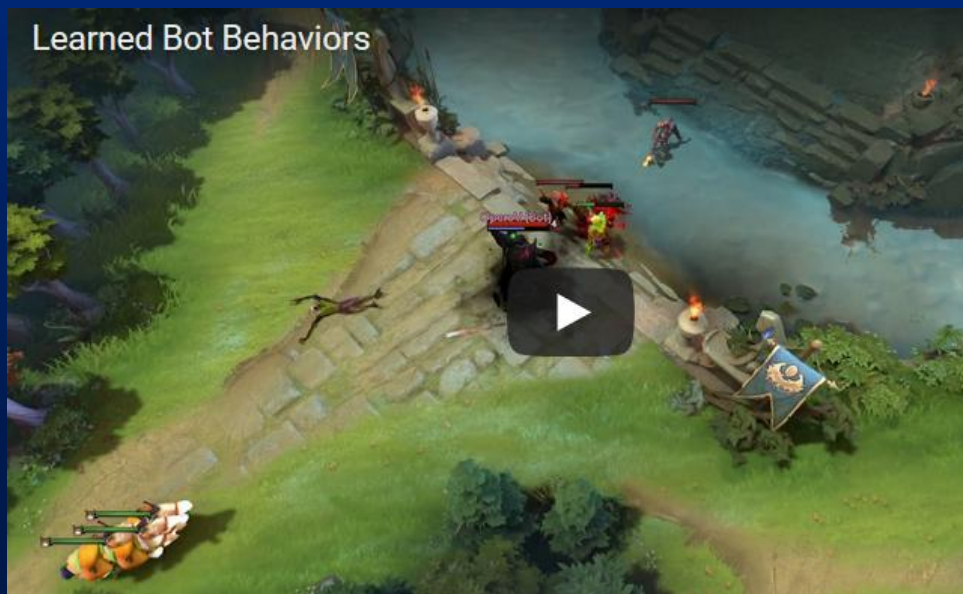
Dota 2

Reguły w Go czy szachach są nieliczne i stosunkowo proste.

Dota 2 to gra wymagająca planowania, oszukiwania, ataku, zrozumienia intencji i planów przeciwników. Możliwości wyboru postaci i przedmiotów, którymi można się posługiwać są w zasadzie nieograniczone.

Program grupy OpenAI zwyciężył w listopadzie 2017 w turnieju z profesjonalnym graczem, mistrzem Dota 2.

Boty sterowane przez program uczyły się grając ze sobą przewidywać ruchy przeciwnika, działać w nowych sytuacjach, współpracować ze sobą. Kolejne wyzwanie to była pełna gra 5 botów na 5 graczy.



StarCraft II

StarCraft II to jedna z najbardziej popularnych gier typu RTS (real-time strategy), w której ważna jest strategia długoterminowa. Pełna informacja o sytuacji nie jest tu dostępna Szybkość maszyny została ograniczona by dać ludzkim zawodnikom szansę. W styczniu 2019 [AlphaStar](#) ([DeepMind](#)) zwyciężyła z dwoma najlepszymi profesjonalistami 5:0. A byli tacy pewni zwycięstwa ...

Głęboka sieć neuronowa trenowana była na danych bezpośrednio z gry, używając uczenia z nadzorem i z krytykiem.

AlphaStar używała strategii i technik walki nie widzianych nigdy u ludzi.

