

www.kwmimkm.polski.pl

# METODY HEURYSTYCZNE

## wykład 1

www.kwmimkm.polski.pl

### ME3, sem. I

prowadzący: dr inż. Witold Beluch (p. 149)

wykład: 15h  
laboratorium: 15h

**ZAJĘCIA KOŃCZĄ SIĘ EGZAMINEM**

**OCENA KOŃCOWA:  $O=0.65E+0.35L$**

E - ocena z egzaminu  
L - ocena z laboratorium

obydwe oceny muszą być pozytywne!

www.kwmimkm.polski.pl

### LITERATURA:

- Arabas J., Wykłady z algorytmów ewolucyjnych, WNT, Warszawa, 2003
- Michalewicz Z., Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne, WNT, Warszawa, 1996 (1992)
- Rutkowski L., Metody i techniki sztucznej inteligencji, PWN, Warszawa, 2006
- Tadeusiewicz R., Elementarne wprowadzenie do techniki sieci neuronowych z przykładowymi programami, Akad. Oficyna Wyd. PLJ, Warszawa, 1998
- Bolc L., Cytowski J., Metody przeszukiwania heurystycznego. Tom 1,2. PWN, Warszawa, 1989, 1991.

www.kwmimkm.polski.pl

### Włodzisław Duch:

<http://www.phys.uni.torun.pl/~duch/Wyklady/>

**Włodzisław Duch**

Notatki do wykładów.

1. Teoria inteligencji - wykład specjalizacji neurograficzny
2. Wstęp do metod heurystycznych - wykład neurograficzny i ewolucyjny
3. Inteligencja obliczeniowa - wykład neurograficzny i ewolucyjny
4. Wstęp do inteligencji - wykład neurograficzny i ewolucyjny
5. Język obliczeniowy - 18 godzin wykładów.
6. Wykład wykładu o 3 komputerach i logice, Wykład Podstawowe
7. Wykład wykładu wykładu o 3 komputerach i logice, Wykład Podstawowe

System programów GhostMiner rozwinięty w naszej Katedrze

Od lipca do końca stycznia jestem w Department of Computer Science, Singapore

Nowości: Konferencja ICANN, Warszawa, 11-14 września, 2005, oraz workshop w Torun 15-16 Sept. 2005, w tym nasz workshop "Building a Brain"

Nowości: Proceedings of the IEEE, z maja 2004, wybrał naszą pracę na go. ostatek numeru, i dodał prolog, który napisał J. E. Sch

Adres:  
University of Mining and Geosciences, Katedra Informatyki Stosowanej, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, ul. Grzegorzka 5, 87-100 Toruń

www.kwmimkm.polski.pl

[http://wazniak.mimuw.edu.pl/index.php?title=Sztuczna\\_inteligencja](http://wazniak.mimuw.edu.pl/index.php?title=Sztuczna_inteligencja)

wykład dotyczący sztucznej inteligencji

www.kwmimkm.polski.pl

### HEURYSTYCZNE – CO TO ZNACZY?!

*„Heuristic methods don't work ... if they did, they would be called algorithms.”*

-- Unknown

Z greckiego: *heuriskein* – znaleźć, odkryć.

Praktyczna, oparta na doświadczeniu, „inteligentna” reguła postępowania, która **MOŻE** drastycznie uprościć lub skrócić proces rozwiązywania problemu, gdy metoda rozwiązania:

- nie jest znana;
- jest zawiła i czasochłonna.

**W algorytmice:**

„Niepełnowartościowy” algorytm, który umożliwia znalezienie w akceptowalnym czasie przynajmniej „dostatecznie dobrego” przybliżonego rozwiązania problemu.  
(*Choć nie gwarantuje tego we wszystkich przypadkach*).

Metody heurystyczne należą do podstawowych narzędzi sztucznej inteligencji, często używane są też w różnych działach badań operacyjnych.



7

**CO BĘDZIE?**

- Strategie ślepe
- Metoda najszybszego wzrostu
- Najpierw najlepszy (zachłanne, A\* i IDA\*)
- Symulowane wyzarcie
- Algorytmy genetyczne i algorytmy ewolucyjne
- Sztuczne sieci neuronowe
- Logika rozmyta i sterowniki rozmyte
- Algorytmy mrówkowe
- Algorytmy immunologiczne ?
- ...



8

# PRZESZUKIWANIE



9

- Jedna z najważniejszych metod informatyki.
- Częstość utożsamiane ze sztuczną inteligencją (AI).
- Wiele zadań praktycznych można traktować jako konkretne przypadki ogólnego zadania przeszukiwania.
- Rozwiązania mają spełniać pewne ustalone kryteria i ograniczenia,
- Inteligentne techniki obliczeniowe opracowywane do przeszukiwania mają na celu znajdowanie zadowalających rozwiązań bez pełnego przeglądania wszystkich możliwości, czyli:  
*dokonanie niewyczerpującego przeszukiwania przestrzeni rozwiązań.*



10

**Ślepe przeszukiwanie:**

Strategie ślepe korzystają z informacji dostępnej jedynie w definicji problemu (nie wykorzystują wiedzy o problemie):

- przeszukiwanie wszerek;
- strategia jednolitego kosztu;
- przeszukiwanie w głąb;
- przeszukiwanie ograniczone w głąb;
- przeszukiwanie iteracyjnie pogłębiane;
- przeszukiwanie dwukierunkowe;
- ...



11

**Zadania „łatwe” to np.:**

- Sortowanie.
- Szukanie pierwiastków wielomianów.
- Szukanie maksimum funkcji ciągłej i różniczkowalnej.
- Mnożenie macierzy.
- Sprawdzenie, czy w grafie istnieje cykl Eulera.

**Zadania „trudne” to np.:**

- Szukanie maksimum funkcji nieciągłej, nieróżniczkowalnej, zaszumionej, zmieniającej się w czasie.
- Szukanie najkrótszej postaci danej formuły logicznej.
- Rozkładanie liczb na czynniki pierwsze.
- Sprawdzenie, czy w grafie istnieje cykl Hamiltona.



12

**Cykl Eulera:** cykl w grafie, który przechodzi przez każdą krawędź niezorientowanego grafu dokładnie jeden raz

(przez węzły może przechodzić wielokrotnie).

**Cykl Hamiltona:** cykl w grafie, w którym każdy wierzchołek grafu występuje dokładnie jeden raz.

(znalezienie cyklu Hamiltona o minimalnej sumie wag krawędzi jest równoważne rozwiązaniu problemu komiwojażera).



13

## ZŁOŻONOŚĆ ALGORYTMU

- To ilość zasobów niezbędna do wykonania algorytmu.
- Mierzona wymaganiami czasowymi  $T$  i pamięciowymi  $S$ .

**Rzędy złożoności** (najczęściej spotykane):

- 1 – stała;
- $\log_2 n$  – logarytmiczna;
- $n$  – liniowa;
- $n \cdot \log_2 n$  – liniowo-logarytmiczna;
- $n^2$  – kwadratowa;
- $n^3$  – sześcienna;
- $n^c$  – wielomianowa;
- $c^n$ ,  $n!$  – wykładnicza.

$n$  – wielkość danych algorytmu



14

## ZŁOŻONOŚĆ ALGORYTMU - przykład

Sortowanie  $n$  obiektów:

- sprawdzenie wszystkich możliwości:  $O(n!)$  – wykładnicza
- algorytm bąbelkowy:  $O(n^2)$  – kwadratowa
- algorytm szybki -  $O(n \log n)$  - liniowo-logarytmiczna



15

**Za:** Zofia Kruczkiewicz, Algorytmy i struktury danych, Wykład 10  
[zofia.kruczkiewicz.staff.iiar.pwr.wroc.pl/wyklady/ALG/Alqum10.pdf](http://zofia.kruczkiewicz.staff.iiar.pwr.wroc.pl/wyklady/ALG/Alqum10.pdf)

Typ złożoności	oznaczenie	n		
		10	50	100
Jedna operacja trwa 1 $\mu$ s				
logarytmiczna	$\lg n$	0.000003 s	0.000006 s	0.000007 s
liniowa	$n$	0.00001 s	0.00005 s	0.0001 s
Logarytmiczno-liniowa	$n \lg n$	0.000033 s	0.000282 s	0.000664 s
kwadratowa	$n^2$	0.0001 s	0.0025 s	0.01 s
Wielomianowa (k-stopień wielomianu)	$n^k$ k=3	0.001 s	0.008 s	1 s
wykładnicza	$2^n$	0.001024 s	35.6 lat	$4.0087 \cdot 10^{16}$ lat
wykładnicza $n!$	$n!$	3.6288 s	$2.63136 \cdot 10^{68}$ lat	$2.9613 \cdot 10^{144}$ lat



16

## PROBLEMY NP

**Problem NP** (*nondeterministic polynomial*):

- problem decyzyjny, dla którego rozwiązanie można zweryfikować w czasie wielomianowym.

Problem  $P_0$  jest **NP-pełny**, gdy:

1.  $P_0$  należy do klasy NP,
2. Każdy problem z klasy NP da się sprowadzić w czasie wielomianowym do problemu  $P_0$ .

Problem **NP-trudny** spełnia tylko punkt 2.

- Problemy NP-pełne mają postać pytania „czy istnieje”.
- Problemy NP-trudne to zwykle ich optymalizacyjne wersje („znajdź najmniejszy”).



17

## Największy problem:

eksplozja kombinatoryczna liczby możliwych dróg.

Np. zadanie komiwojażera:

Liczba możliwych tras:

$$(N - 1) / 2$$

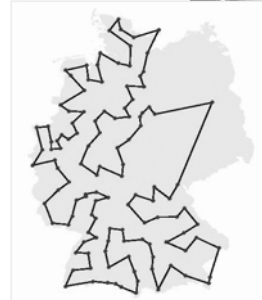
$$N=100 - 1 \text{ minuta}$$

$$N=101 - 1\text{h}40'$$

$$N=102 - 7 \text{ dni}$$

$$N=103 - 2 \text{ lata}$$

...



- warcaby:  $10^{40}$  węzłów;
- szachy:  $10^{120}$  węzłów;
- go:  $10^{260}$  węzłów.



18

# STRATEGIE ŚLEPE

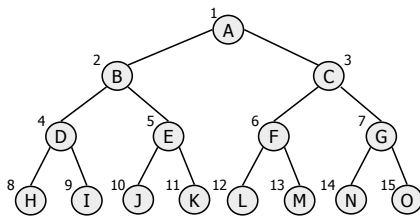


## PRZESZUKIWANIE WSZERZ

1. Utwórz listę węzłów P zawierającą stany początkowe.
2. Niech n będzie pierwszym węzłem w P. Jeżeli P jest puste, zakończ i zwróć **NIEPOWODZENIE**.
3. Jeżeli n jest rozwiązaniem, zatrzymaj i podaj ścieżkę od stanu początkowego do n - zwróć **SUKCES**.
4. W przeciwnym przypadku usuń n z P i na **końcu** listy dopisz wszystkich potomków n (wygenerowanych z pomocą zdefiniowanych reguł) zapamiętując dla każdego ścieżkę od stanu początkowego.
5. Wróć do kroku 2.



Metoda ta wykonuje rozwinięcie najpłytszego węzła spośród tych, które nie były jeszcze rozszerzone



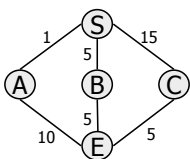
## PRZESZUKIWANIE W GŁĘB

1. Utwórz listę węzłów P zawierającą stany początkowe.
2. Niech n będzie pierwszym węzłem w P. Jeżeli P jest puste, zakończ i zwróć **NIEPOWODZENIE**.
3. Jeżeli n jest rozwiązaniem, zatrzymaj i podaj ścieżkę od stanu początkowego do n - zwróć **SUKCES**.
4. W przeciwnym przypadku usuń n z P i na **początku** listy dopisz wszystkich potomków n (wygenerowanych za pomocą reguł produkcji) zapamiętując dla każdego ścieżkę od stanu początkowego.
5. Wróć do kroku 2.



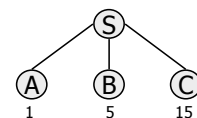
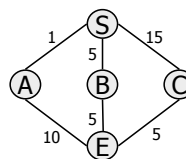
## STRATEGIA JEDNOLITEGO KOSZTU (UNIFORM-COST SEARCH)

- Wykonuje ekspansję węzła o najmniejszym koszcie spośród tych, które nie były jeszcze rozszerzone.
- Jeśli koszt wszystkich węzłów jest jednakowy, to jest to równoważne szukaniu wszerz.



## STRATEGIA JEDNOLITEGO KOSZTU (UNIFORM-COST SEARCH)

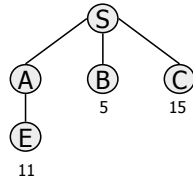
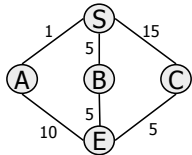
- Wykonuje ekspansję węzła o najmniejszym koszcie spośród tych, które nie były jeszcze rozszerzone.
- Jeśli koszt wszystkich węzłów jest jednakowy, to jest to równoważne szukaniu wszerz.



## STRATEGIA JEDNOLITEGO KOSZTU

### (UNIFORM-COST SEARCH)

- Wykonuje ekspansję węzła o najmniejszym koszcie spośród tych, które nie były jeszcze rozszerzone.
- Jeśli koszt wszystkich węzłów jest jednakowy, to jest to równoważne szukaniu wszerz.

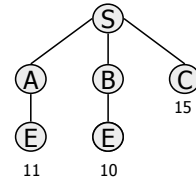
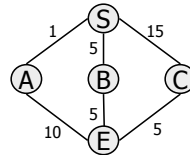


25

## STRATEGIA JEDNOLITEGO KOSZTU

### (UNIFORM-COST SEARCH)

- Wykonuje ekspansję węzła o najmniejszym koszcie spośród tych, które nie były jeszcze rozszerzone.
- Jeśli koszt wszystkich węzłów jest jednakowy, to jest to równoważne szukaniu wszerz.



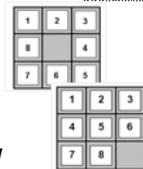
26

# PRZYKŁADOWE PROBLEMY



27

## ÓSEMKA



- Przestrzeń stanów:  
 $9!/2 = 181\ 440$  elementów
- Stan: macierz 3x3.
- Operacje: przesuwanie  
(najwygodniej: 4 operacje na pustym polu);
- Ruchy: zbiór operatorów:  $O_d, O_g, O_l, O_p$ .
- Zbiór stanów wyjściowych  $S$  i końcowych  $G$ .
- Problem zdefiniowany jest jako trójka  $(S, O, G)$ .
- Rozwiązanie problemu:  
ciąg operatorów przekształcających  $S \rightarrow G$ .



28

## ÓSEMKA...

Algorytmy szukania heurystycznego testuje się często na problemie przesuwanki.

Klocków	Rozmiar przestrzeni stanów	Czas sprawdzenia wszystkich stanów
8	181 440	0.18 s
15	$0.65 \cdot 10^{12}$	6 dni
24	$0.5 \cdot 10^{25}$	12 bilionów lat

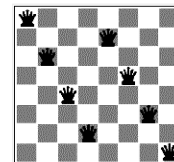
...zakładając sprawdzanie  $1 \cdot 10^6$  stanów na sekundę.

Dobra funkcja heurystyczna zmniejsza liczbę rozpatrywanych stanów do  $<50$ .



29

## PROBLEM N KRÓLOWYCH



- Stan początkowy: dowolny układ  $N$  królowych.
- Operator: przestaw królową na jedno z pustych pól.
- Cel: ustawienie  $N$  królowych tak, by żadna nie atakowała pozostałych.
- Cel dodatkowy: znaleźć wszystkie możliwe rozwiązania.



30

<http://www.mini.pw.edu.pl/miniwyklady/sieci/hetmany.html>

**Rozwiązanie** - Przy pomocy sieci komputerowej

- Na planie jest przypisanych rozmiarom pewna ilość hetmanów
- Każdy układ figur na planie ma przypisaną pewną wartość energii. Im większa energia, tym ustawienie gorzej. Każda kolejka w poziomie, pionie, bądź na przekątnych oraz liczba hetmanów o-blegująca o N podnosi energię. Poprawne rozwiązanie ma oczywiście energię równą zero.
- W każdym kroku nie potrzeba zmiać konfiguracji na planie, tak aby zmniejszyć energię

**Obługa:**

- Aby uruchomić algorytm od początku włącz asus
- Aby przerwać działanie włącz asus
- Przed uruchomieniem algorytmu możesz podać rozmiar plany
- Przydłóż dla danego rozmiaru algorytmu przy pomocy suwaczki na dole
- Po wykonaniu każdego kroku program wygeneruje liczbę hetmanów, którą, jeśli wykonasz kroki w ten sposób, możesz wykonać kroki w ten sposób
- Możesz również wybrać wielkość okna aplikacji (tytuł MS-Excel)

Tutaj możesz zapoznać się z kodem programu

- [Technologia Asus let asus](#)
- [Czas asus](#)
- [Przebieg asus](#)

31

**KRYPTOARYTMETYKA**

Zamień litery na cyfry.

- Stan początkowy: słupek arytmetyczny z literami.
- Operator: zamień jednoznacznie literę na cyfrę.
- Cel: zamień wszystkie litery tak, by operacje na cyfrach się zgadzały.

Np:

<b>FORTY</b>	+	<b>TEN</b>	+	<b>TEN</b>	=	<b>29786</b>
<b>SIXTY</b>	+	<b>TEN</b>	+	<b>TEN</b>	=	<b>31486</b>

Rozwiązanie:

32

**KOLOROWANIE MAPY**

„Gdy w październiku 1852 roku Francis Guthrie (były student Augustusa de Morgana) kolorował mapę Anglii, zauważył, że cztery kolory wystarczą, by każde dwa sąsiadujące hrabstwa różniły się barwą. Pomyślał: *Czy cztery barwy wystarczą do pokolorowania dowolnej, nawet najbardziej skomplikowanej mapy?*” (...)

**Więcej:**  
<http://www.mimuw.edu.pl/delta/artykuly/delta0604/4barwy.pdf>

33

**LIS I GĘSI**

Farmer ma przewieźć lisa, gęś i ziarno małą łódką na drugą stronę rzeki:

- w łódce mieści się 1 rzecz;
- lis zjada gęś, gęś zjada ziarno.

Stan początkowy:

pusto...

16 stanów w tym:

- 6 niebezpiecznych
- 10 akceptowalnych

34

**GRAF ROZWIĄZAŃ:**

Dla większej liczby obiektów („misjonarze i kanibale”) zadanie nietrywialne: wymagane jest tworzenie etapów pośrednich, chwilowo oddalających od pożądanego rozwiązania.

35

**PRAKTYCZNE PROBLEMY**

- Szukanie optymalnej drogi (rutowanie pakietów w sieciach komputerowych, rezerwacje lotnicze itp).
- Projektowanie układów VLSI (very-large scale integration).
- Optymalizacja drogi robota w zmiennym środowisku.
- Autonomiczne urządzenia ratunkowe.
- Plan zajęć w szkole.
- Gry komputerowe.
- Dowodzenie twierdzeń matematycznych.
- Wnioskowanie (znalezienie zależności w bazie wiedzy).
- Systemy diagnozy medycznej.
- Komunikacja z maszyną za pomocą języka naturalnego.
- Eksploracja danych (data mining).

36

# PROBLEM I JEGO OPIS



37

## DEFINICJA PROBLEMU

1. Baza danych: fakty, stany, możliwości, opis sytuacji.
  2. Możliwe operacje: zmieniają stan bazy danych.
  3. Strategia kontrolna: określa start, koniec i kolejność operacji.
- Ciąg operacji tworzy sekwencję działań.
  - Z każdą operacją związany jest pewien koszt.
  - Należy dążyć do minimalizacji całkowitych kosztów.



38

## REPREZENTACJA PROBLEMU

Zbiór konwencji dotyczących opisu pewnej klasy rzeczy.

Odpowiednia reprezentacja – znaczna część rozwiązania:

- uwidacznia istotne relacje;
- ujawnia wszystkie więzy ograniczające możliwe relacje;
- jest zrozumiała, kompletna, zwięzła;
- można ją efektywnie wykorzystać w modelu komputerowym.

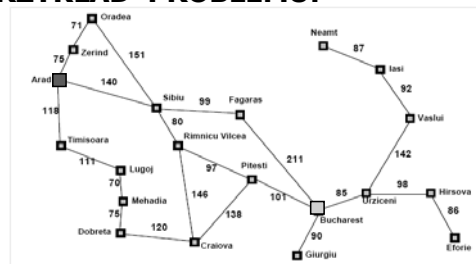
1. Reprezentacja w przestrzeni stanów.
2. Reprezentacja redukcyjna.

Zwykle problemy można konwertować z 1 do 2 (i odwrotnie)



39

## PRZYKŁAD PROBLEMU:

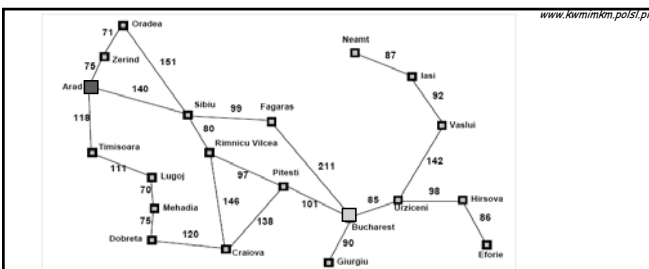


### Sformułowanie problemu:

- stany: miasta {Arad, Sibiu, Bucharest, ...};
- akcje: przejazdy pomiędzy 2 miastami (np.: Arad → Sibiu);
- cel: Arad → Bucharest;
- koszt akcji: odległość pomiędzy dwoma miastami.



40



### Reprezentacja problemu:

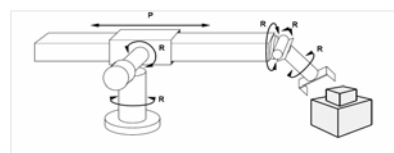
- stan początkowy: Arad;
- stan docelowy: Bukareszt;
- rozwiązanie: ciąg przejazdów (np. Arad → Sibiu → Fagaras → Bukareszt);
- koszt rozwiązania: suma km pomiędzy kolejnymi miastami.



41

## PRZYKŁAD PROBLEMU:

### Montaż przy użyciu robota



### Sformułowanie problemu:

- stany: rzeczywiste współrzędne kątów w złączeniach robota, elementy do zmontowania;
- akcje: ciągłe ruchy złączy robota;
- cel: kompletny montaż;
- koszt akcji: czas montażu.

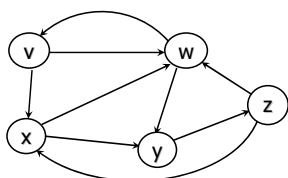


42

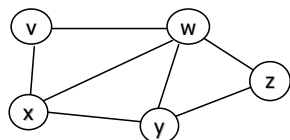
## GRAF:

Uporządkowana para:  $G = (V, E)$

- $V$  - niepusty zbiór wierzchołków (węzłów, punktów);
- $E$  - zbiór krawędzi (łuków).



skierowane  
(zorientowane)

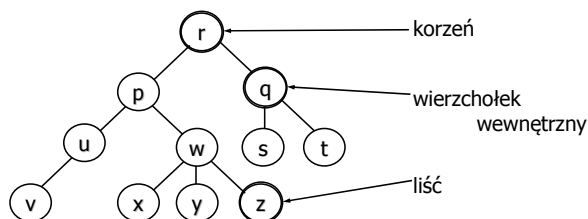


nieskierowane  
(niezorientowane)

43

## DRZEWA:

grafy, w których każdy węzeł ma tylko 1 poprzednika.



Drzewo to graf:

- nieskierowany;
- acykliczny;
- spójny.

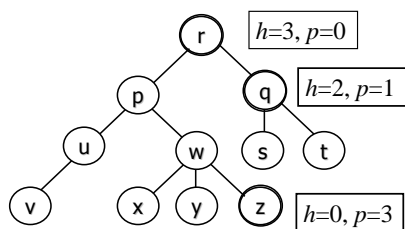
- wierzchołek = stan
- krawędź = akcja

44

Wysokość wierzchołka ( $h$ ): maksymalna długość drogi od tego wierzchołka do liścia.

Wysokość drzewa: dł. najdłuższej drogi od korzenia do liścia.

Głębokość (numer poziomu) wierzchołka ( $p$ ): długość drogi łączącej ten wierzchołek z korzeniem.



45

## REPREZENTACJA REDUKCYJNA

Najważniejsze nie stany, ale cele (opisy problemu).

Elementy składowe:

- opis początkowego problemu;
- zbiór operatorów transformujących dany problem na problemy cząstkowe;
- zbiór problemów elementarnych.

Np.: Wieże Hanoi:



Krażki: 1, 2, 3, 4  
Kołki: A, B, C.

Koszt czasowy algorytmu:  $T(n) = 2^n - 1$ .

Przy  $1 \cdot 10^6$  stanów/s - dla  $n=64$  : 0.5 miliona lat!

46

"W wielkiej świątyni Benares w Hanoi, pod kopułą, która zaznacza środek świata, znajduje się płytka z brązu, na której umocowane są trzy diamentowe igły, wysokie na łokieć i cienkie jak talia osy.

Na jednej z tych igieł, w momencie stworzenia świata, Bóg umieścił 64 krażki ze szczerego złota. Największy z nich leży na płytce z brązu, a pozostałe jeden na drugim, idąc malejąco do najmniejszego. Jest to wieża Brahma.

Bez przerwy we dnie i w nocy kapłani przekładają krażki z jednej diamentowej igły na drugą, przestrzegając niewzruszonych praw Brahma. Prawa te chcą, aby kapłan na służbie brał tylko jeden krażek na raz i aby umieszczał go na jednej z igieł w ten sposób, by nigdy nie znalazł się pod nim krażek mniejszy.

Wówczas, gdy 64 krażki zostaną przełożone z igły, na której umieścił je Bóg w momencie stworzenia świata, na jedną z dwóch pozostałych igieł, wieża, świątynia, braminy rozsypią się w proch i w jednym oka mgnięniu nastąpi koniec świata".

47

**Problem:** przesunąć  $n$  klocków z A na C.

**Podproblemy:**

- Przesunąć stos  $n-1$  klocków z A na B
- Przesunąć jeden klocek z A na C
- Przesunąć stos  $n-1$  klocków z B na C



**Problem elementarny:** przesunięcie pojedynczego klocka.

**Opis problemu:**

- ile jest klocków na stosie do przesunięcia;
- z którego kołka przesuwając;
- na który kołek przesuwając.

48



http://chemeng.p.lodz.pl/zylla/games/hanoi3p.html

www.kwmimkm.polski.pl

49

www.kwmimkm.polski.pl

### KRYTERIA OCENY STRATEGII SZUKANIA:

- **Zupełność** — czy zawsze znajduje rozwiązanie, jeśli ono istnieje?
- **Złożoność czasowa** — liczba wygenerowanych węzłów.
- **Złożoność pamięciowa** — maksymalna liczba węzłów w pamięci.
- **Optymalność** — czy znajduje rozwiązanie o minimalnym koszcie?

Złożoność czasowa i pamięciowa mierzone w terminach:

- $b$  — maksymalne rozgałęzienie drzewa przeszukiwań;
- $d$  — głębokość rozwiązania o najmniejszym koszcie;
- $m$  — maks. głębokość drzewa przeszukiwań (możliwa  $\infty$ ).

50

www.kwmimkm.polski.pl

# METODY HEURYSTYCZNE

51

www.kwmimkm.polski.pl

### METODY HEURYSTYCZNE („intuicyjne“):

- Strategie heurystyczne korzystają z dodatkowej, heurystycznej funkcji oceny stanu  
(*np. szacującej koszt rozwiązania od bieżącego stanu do celu*).
- Używają heurystyk, „reguł kciuka” by określić, którą część drzewa decyzji rozwijać najpierw.
- Heurystyki to reguły lub metody, które prawie zawsze gwarantują podjęcie lepszej decyzji.
- Heurystyki wskazują dobre (według pewnego kryterium) kierunki poszukiwania, ale mogą pominąć **ważne** rozwiązania.

52

www.kwmimkm.polski.pl

### Podział metod heurystycznych:

- ogólne - efektywne dla szerokiego spektrum zadań;
- szczególne – wykorzystują specyficzną wiedzę z danej dziedziny.

### Zalety poszukiwań heurystycznych:

- uniknięcie eksplozji kombinatorycznej;
- satysfakcjonujące (quasi-optymalne, dobre) rozwiązanie często wystarcza;
- próby znalezienia heurystyki dla danego problemu często prowadzą do lepszego zrozumienia tematu.

53

www.kwmimkm.polski.pl

### Kiedy stosować przeszukiwanie heurystyczne?

- np. systemy ekspertowe – problem nie posiada jednoznacznego rozwiązania ze względu na:
  - niejednoznaczność zadania (celu);
  - nieprecyzyjne lub niepewne dane;
  - niepełne dane.
- Przeszukiwanie przestrzeni stanów z funkcją oceny – gdy istnieją dokładne rozwiązania, ale wymogi co do zasobów (pamięć, czas) są zbyt duże.

### Typowe zastosowania:

- problemy jednoosobowe (np. zagadki logiczne);
- zadania optymalizacji (np. znajdowanie najkrótszej ścieżki);
- gry dwuosobowe;
- systemy dowodzenia twierdzeń.

54

## FUNKCJA HEURYSTYCZNA:

www.kwmimkn.polsl.pl

$$h: \Psi \rightarrow \mathfrak{R}$$

gdzie:

$\Psi$  – zbiór dozwolonych stanów  $\{s_0, s_1, \dots, s_n\}$ ,

$\mathfrak{R}$  – liczby rzeczywiste.

Funkcja heurystyczna odwzorowuje stany we współczynnik ich użyteczności.

Funkcja heurystyczna odwzorowuje stany  $s$  ze zbioru

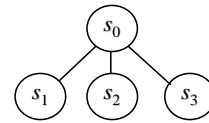
$\Psi$  na wartości  $h(s)$  służące do oceny względnych

kosztów lub zysków rozwijania dalszej drogi przez

węzeł odpowiadający  $s$ .



55



www.kwmimkn.polsl.pl

Węzeł  $s_0$  ma 3 potomków.

Określamy koszty utworzenia węzłów  $s_1$ ,  $s_2$  i  $s_3$ :

$$h(s_1) = 0.95$$

$$h(s_2) = 1.3$$

$$h(s_3) = 0.6$$

Z punktu widzenia danej heurystyki  $s_3$  jest najlepszym kandydatem.



56

## PRZYKŁADY FUNKCJI HEURYSTYCZNYCH:

www.kwmimkn.polsl.pl

### • Problem komiwojażera:

- suma odległości jaka została przebyta do osiągnięcia danego miasta;

### • Kółko i krzyżyk:

- wartość 1 dla wierszy, kolumn i przekątnych, w których jest symbol danego gracza i możliwa jest wygrana.

- wartość 2 dla wierszy, kolumn i przekątnych, w których są 2 symbole i możliwa jest wygrana.



57