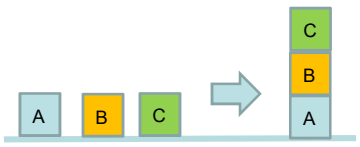
Arama

Arama Her Yerde

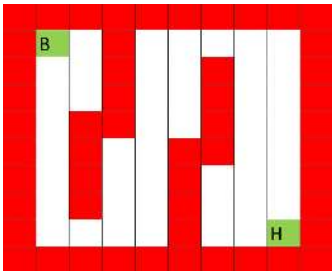
Planlama

- Problem: Masadaki küpleri mevcut pozisyondan istenilen pozisyona getirmek
- Olası hareketler: küp tutma, küpü yere koyma, küpü bir başka küpün üzerine koyma
- Çözüm: Hareketler sırası



Robot Yol Planlama

- Başlangıç noktasından (B) hedef noktasına (H) gitmek.
- Olası hareketler: Sola, Sağa, Aşağıya, Yukarıya
- Olası hareketlerin maliyetleri birbirlerinden farklı olabilir.
- En az maliyetli hareketler dizisini bulmak.



Cin Ali Nehirde

http://josquin.cs.depaul.edu/~rburke/courses/f08/comp30030/notes/lec_0911.pdf

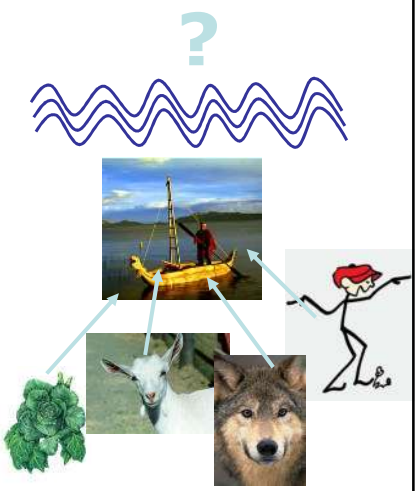
Hedef:

Ali küçük bir sandalla, kurtunu, keçisini ve kabağını nehrin karşısına geçirmek istiyor.

Kısıtlar:

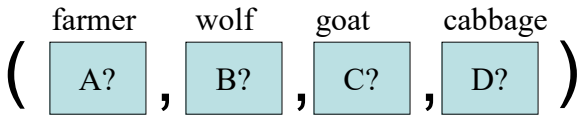
Sandal Ali'yle birlikte en fazla bir tane nesneyi taşıyabiliyor.

Keçi - kabak, kurt - keçi ikilileri Ali yanlarında değilken, nehrin aynı tarafında olmamalı.



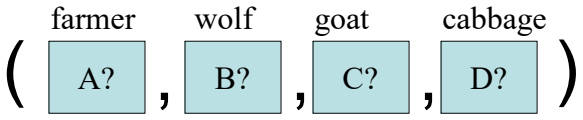
Problemin Gösterimi

- İfade edilmesi gerekenler
  - 4 nesnenin pozisyonu
    - Sandalı ifade etmeye gerek yok. Çünkü yeri her zaman Ali ile aynı.
  - Nesneler ya kuzeyde (N), ya da güneyde (S)
- Her bir nesneyi pozisyonunu gösteren bir harfle ifade:



Problemin Gösterimi

- İlk durum
  - (S, S, S, S)

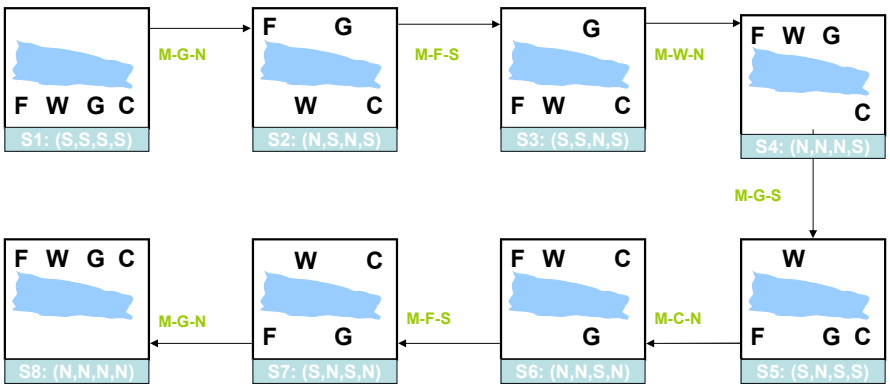


- Yasak durumlar
  - Kurt keçiyi yer (Ali olay yerinde değilse)
    - (N, S, S, _)
    - (S, N, N, _)
  - Keçi kabağı yer (Ali olay yerinde değilse)
    - (N, _, S, S)
    - (S, _, N, N)
- Hedef durum
  - (N, N, N, N)

Operatörler

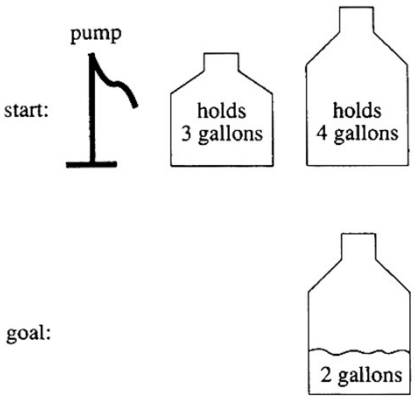
- Aksiyonlar / hareketler / oparetörler durumları birbirine dönüştürür.
- Keçiyi kuzeye taşımak
  - Başlangıç durumu: keçi güneyde
  - Bitiş durumu: keçi kuzeyde
  - Diğer nesnelerin yerinin önemi yok.
- Gösterim
  - Move(Goat, North)
    - (S, ?wolf, S, ?cabbage) => (N, ?wolf, N, ?cabbage)
  - *?wolf* kurtun yerini gösteren bir değişken
  - Değişken kullanımı bizi çok sayıda kural yazmaktan kurtarır. Burada 4 kural yerine 1 kural yetti.
  - Herbir nesne iki yerde olabildiğine göre toplam $2^4 = 16$ durum (state) var.

Bir çözüm örneği



Su bidonları (Jugs problem)

- Elinde 3 ve 4 galon hacimlere sahip 2 bidon var.
- Limitsiz bir su kaynağın var. (Pompa)
- İstenen: 4 galonluk bidona tam 2 galon su koyman.



Die Hard: https://www.youtube.com/watch?v=6cAbgAaEOVE

Problemin Gösterimi

- Durum (State) gösterimi**: (x, y)**
  - x: 4 galonluk bidondaki su miktarı
  - y: 3 galonluk bidondaki su miktarı
- Başlangıç durumu: **(0, 0)**
- Bitiş / hedef durumu **(2, n)**

Operatörler

1 $(x,y) \rightarrow (4,y)$ if $x < 4$	4 galonluk bidonu pompa ile doldur
2 $(x,y) \rightarrow (x,3)$ if $y < 3$	3 galonluk bidonu pompa ile doldur
3 $(x,y) \rightarrow (0,y)$ if $x > 0$	4 galonluk bidonu yere boşalt
4 $(x,y) \rightarrow (x,0)$ if $y > 0$	3 galonluk bidonu yere boşalt
5 $(x,y) \rightarrow (4,y-(4-x))$ if $x + y \geq 4$ and $y > 0$	4 galonluk bidon dolana kadar 3 galonluk bidondan su doldur.
6 $(x,y) \rightarrow (x-(3-y),3)$ if $x + y \geq 3$ and $x > 0$	3 galonluk bidon dolana kadar 4 galonluk bidondan su doldur.

Operatörler

7 $(x,y) \rightarrow (x + y, 0)$ if $x + y \leq 4$ and $y > 0$	3 galonluk bidondaki suyun tamamını 4 galonluğa boşalt.
8 $(x,y) \rightarrow (0, x + y)$ if $x + y \leq 3$ and $x > 0$	4 galonluk bidondaki suyun tamamını 3 galonluğa boşalt.

Bir çözüm

4 galonluk bidondaki su miktarı	3 galonluk bidondaki su miktarı	Uygulanan kural no
0	0	2
0	3	7
3	0	2
3	3	5
4	2	3
0	2	7
2	0	

8 – puzzle*

4	3	6
2	1	8
7		5

S_0

1	2	3
4	5	6
7	8	

G

Karmaşıklığı azaltmak için taş hareketleri boş karenin hareketleri olarak temsil edilebilir.

Operatörler:

L : Boş kare sola

R : Boş kare sağa

U : Boş kare yukarıya

D : Boş kare aşağıya

$C(L) = C(R) = C(U) = C(D) = 1$

[*] http://aima.cs.berkeley.edu/figures.pdf

8 puzzle'ın arama ağacı

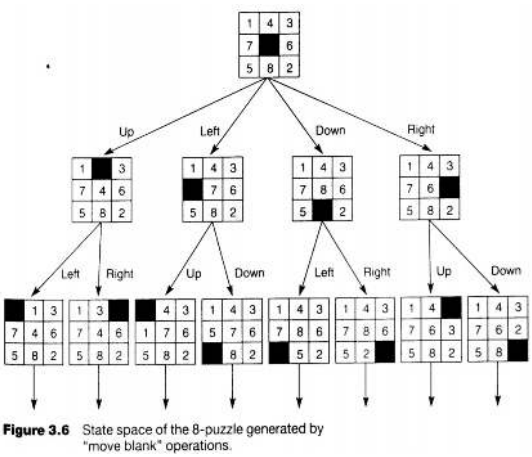


Figure 3.6 State space of the 8-puzzle generated by "move blank" operations.

Ortalama adım sayısı 22, Ortalama dallanma sayısı: 2,67
Tekil olmayan 2.7 milyar durum

Tanımlar

- Durum Uzayı, Arama Uzayı, Arama ağacı, State Space, Search Space, Search Tree : Durumları, aralarındaki geçişleri, geçiş parametrelerini ve kısıtlarını gösteren graf/ağaç
- Operatörler : Durumlar arası geçişleri sağlarlar.
- Başlangıç durumu : S_0 (Aramanın başladığı durum)
- Hedef durumu: $\{G\}$ - (Aramanın bittiği durum)
- Maliyet, Cost : Operatürü uygulamanın maliyeti
- Çözüm yolu, solution path: Başlangıç durumundan hedef duruma giden yol
- Optimum Yol, Optimal path : En düşük maliyetli çözüm yolu

Arama neden zor olabilir?

Varsayımlar:
Bir durumdan gidilebilecek durum sayısı , dallanma sayısı : b=10
Saniyede işlenen durum / node sayısı: 1000
Bir durum / node için tutulan bellek miktarı: 100 bytes

Çözümün derinliği	İşlenen durum sayısı	Zaman	Bellek
0	1	1 milisaniye	100 bytes
2	111	0.1 saniye	11 kbytes
4	11,111	11 saniye	1 megabyte
8	10^8	31 saat	11 gigabytes
12	10^{12}	35 yıl	111 terabytes

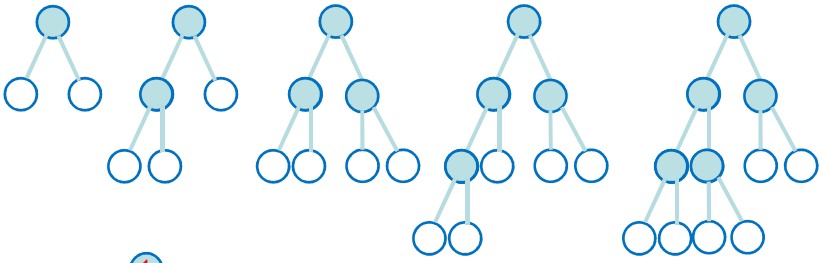
Arama Algoritmaları / Stratejileri

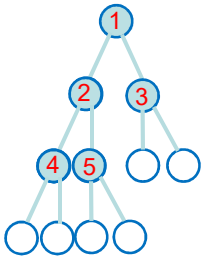
- Arama stratejileri, bir durumdan diğer bir duruma giderken gidilecek durumun olası gidilebilecek durumlar arasından nasıl seçildiğini belirler.
- Stratejiler birkaç boyutta değerlendirilir:
  - Tamlık (completeness): Bir çözüm varsa mutlaka bulması
  - Zaman Karmaşıklığı (time complexity): Aramanın alacağı süre
  - Hafıza Karmaşıklığı (space complexity): Arama için gereken hafıza miktarı
  - Optimumluk (optimality): ilk bulunan çözümün en düşük maliyetli çözüm olması
- Zaman ve Hafıza karmaşıklıklarının ölçümlerinde kullanılan kavramlar
  - *b:* Maksimum dallanma sayısı (bir düğümden çıkan maksimum düğüm sayısı)
  - *d: En az maliyetli çözümün derinliği*
  - *m*: arama uzayının maksimum derinliği (bazen ∞)

Kör / Mekanik / Bilgisiz / Blind / Uninformed Arama Stratejileri

- Enlemesine Arama / Breadth-first search
- Düşük Maliyetli Arama / Uniform cost search
- Derinlemesine Arama / Depth-first search
- Sınırlı Derinlikte Arama / Depth-limited search
- Artan Derinlikli Arama / Iterative deepening search
- Çift Yönlü Arama / Bidirectional search

Enlemesine Arama Breadth-first search





Ağaç / durumlar en başta elimizde yok, zaman içinde oluşuyor.

Çözüm bir durum sırası, durum açma sırası da, ama bunlar birbirinden farklı şeyler.

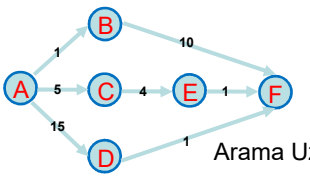
Enlemesine Aramayı gerçekleştirmek için: Kuyruk, ilk giren ilk çıkar

Enlemesine Aramanın Analizi

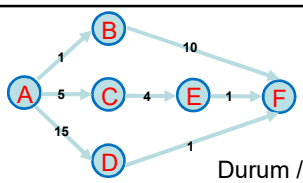
- Complete? Eğer b sonlu ise evet
- Time? $1+b+b^2+b^3+\ldots+b^d = O(b^d)$
- Space? $O(b^d)$ (her node hafızada)
- Optimal? Her adımın maliyeti eşitse evet
- Hafıza zamandan daha büyük problem

Düşük Maliyetli Arama Uniform Cost Search

- Enlemesine aramaya benzer.
- Kökten itibaren toplam maliyeti en az düğümü seçer ve genişletir.
- Tüm maliyetler birbirine eşitse enlemesine aramanın aynısı

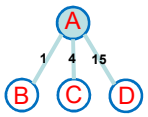


Arama Uzayı

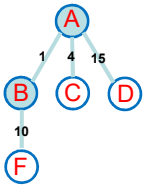


Durum / Geçiş Uzayı

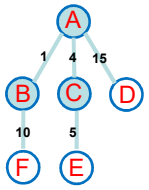
Düşük Maliyetli Arama
Uniform Cost Search



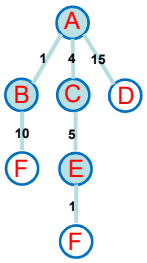
B,C,D→B
min(1,4,15)→1



F,C,D→C
min(10+1,4,15)→4



F,E,D→E
min(10+1,4+5,15)→9

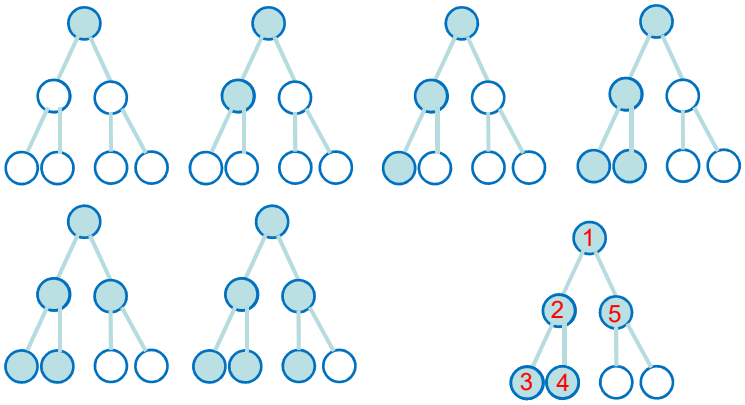


F,F,D→F
min(10+1,4+5+1,15)→10

Düşük Maliyetli Aramanın Analizi

- Complete? Eğer b sonlu ve maliyet >0 ise Evet
- Time? $O(b^d)$
- Space? $O(b^d)$
- Optimal? Tüm maliyetler pozitif ise Evet
- Hafıza zamandan daha büyük problem

Derinlemesine Arama
Depth-first search



Gerçekleştirmek için: Stack, son giren ilk çıkar

Derinlemesine Aramanın Analizi

- Complete? Sonsuz derinlikli / loop içeren arama uzayları için Hayır
  - Eğer algoritma durum tekrarını önleyecek şekilde değiştirilirse Evet.
- Time? $O(b^m)$: Eğer m, d'den çok büyükse çok kötü
  - Çözümler arama uzayında yoğunsa enine aramadan hızlı olabilir.
- Space? $O(bm)$, lineer!
- Optimal? Hayır. Bulduğu çözümden daha optimumu olabilir.

Sınırlı Derinlikte Arama
Depth-limited search

= derinlemesine aramanın derinlik sınırlanmış (*l*) hali

l derinliğinde olan node'ların genişlemesine izin verme

Artan Derinlikli Arama
Iterative deepening search

= for derinlik limiti (*l*)= 0 to X

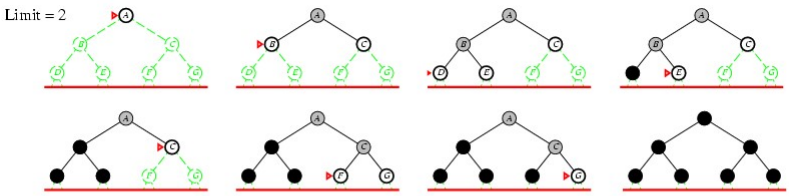
Sınırlı derinlikte arama (*l*)

Artan Derinlikli Arama *l* =0

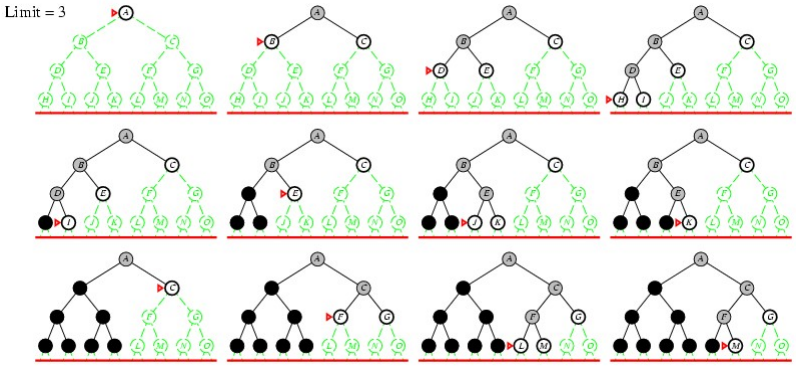
[*] http://aima.cs.berkeley.edu/figures.pdf

Artan Derinlikli Arama *l* =1

Artan Derinlikli Arama *l* =2



Artan Derinlikli Arama *l* =3



Artan Derinlikli Arama vs. Sınırlı Derinlikte Arama

- d derinlikli b dallanma sayılı uzayda üretilen toplam durum / düğüm / node sayıları:

$N_{DLS} = b^0 + b^1 + b^2 + \ldots + b^{d-2} + b^{d-1} + b^d$

$N_{IDS} = (d+1)b^0 + d\ b^{\wedge 1} + (d-1)b^{\wedge 2} + \ldots + 3b^{d-2} + 2b^{d-1} + 1b^d$

- IDS'de her düğümden birden fazla kez geçiliyor.
- *b = 10*, *d = 5*, için
  - $N_{DLS} = 1 + 10 + 100 + 1{,}000 + 10{,}000 + 100{,}000 = 111{,}111$
  - $N_{IDS} = 6 + 50 + 400 + 3{,}000 + 20{,}000 + 100{,}000 = 123{,}456$

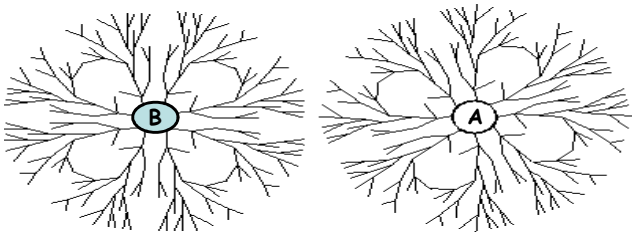
- Fazlalık oranı = (123,456 - 111,111)/111,111 = 11%
- Bu fazlalıkla optimumluk elde ediliyor.

Artan Derinlikli Aramanın Analizi

- Complete? Evet
- Time? $(d+1)b^0 + d\,b^1 + (d-1)b^2 + \ldots + b^d = O(b^d)$
- Space? $O(bd)$
- Optimal? Eğer tüm maliyetler eşitse Evet

Artan derinlikli aramada derinlemesine arama yerine enlemesine arama yapılırsa ne olur?

İki Yönlü Arama
Bidirectional Search



- İleri ve geri aramaların her biri sadece yarım yol gider. Enlemesine arama yapılır.
- b=10, d=6 için her bir yön 3 derinliğinde olur ve oluşturulan düğüm sayısı 2,222 dir. Genişlik öncelikli (enlemesine) aramada bu sayı 1,111,111.
- Complete? Evet
- Time? $O(b^{d/2})$
- Space? $O(b^{d/2})$
- Optimal? Eğer tüm maliyetler eşitse Evet

Enlemesine Arama Algoritması

- kuyruk = [kök durum]
- bulundu = FALSE
- While (kuyruk <> boş) and (bulundu = FALSE)
  - Kuyruktan ilk durumu (N) çek
  - Eğer N hedef durumsa, bulundu = TRUE
  - N'den gidilebilecek tüm durumları kuyruğun sonuna ekle

Düşük maliyetli Arama Algoritması

- kuyruk = [kök durum]
- bulundu = FALSE
- While (kuyruk <> boş) and (bulundu = FALSE)
  - Kuyruktan ilk durumu (N) çek
  - Eğer N hedef durumsa, bulundu = TRUE
  - N'den gidilebilecek tüm durumları kuyruğun sonuna ekle
  - Kuyruktaki durumları kökten maliyetlere göre küçükten büyüğe sırala

Derinlemesine Arama Algoritması

- stack= [kök durum]
- bulundu = FALSE
- While (stack <> boş) and (bulundu = FALSE)
  - Stack'ten ilk durumu (N) çek
  - Eğer N hedef durumsa, bulundu = TRUE
  - N'den gidilebilecek tüm durumları stack'in başına ekle

Tekrarlayan Durumlar

- A→D
- D→E
- E→A,F
- A'dan başlayıp derinlemesine arama yaparsak? F hedef olsun

- A
- D(AD)
- E(ADE)
- A(ADEA) F(ADEF)
- D(ADEAD) F(ADEF)
- E(ADEADE) F(ADEF)
- A(ADEADEA) F(ADEADEF) F(ADEF)
- D(ADEADEAD) F(ADEADEF) F(ADEF)
- E(ADEADEADE) F(ADEADEF) F(ADEF)
- A(ADEADEADEA) F(ADEADEADEF) F(ADEADEF) F(ADEF)
- …

Çözüm: yeni durumları eklemede önce kontrol, varsa ekleme
E(ADE)
E den A ve F ye gidilebiliyor
A içeride var ekleme, F yok ekle

Karşılaştırma

DFS,
+ Hafıza gereksimininde lineer
- Loop içeren arama uzaylarında sonsuza kadar çalışır
- Optimum çözümü bulmayı garantilemez

BFS,
+ Optimum çözüm
+ Loop lardan kurtulabilir
- Hazıfa gereksinimi derinlikle üssel olarak büyüyor

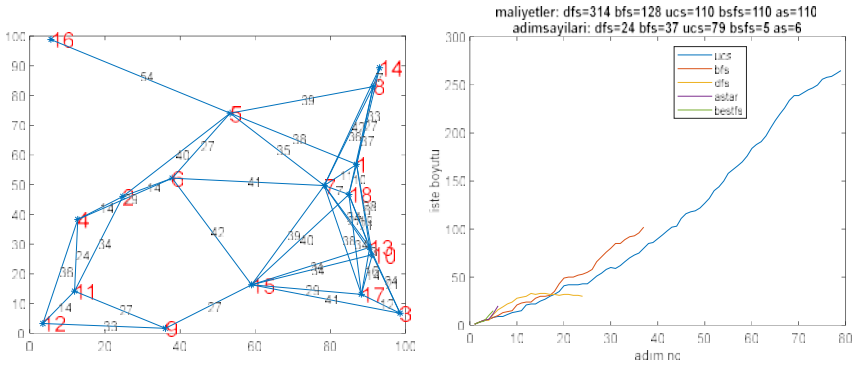
IDS,
+ Lineer hafıza gereksinimi
+ Looplardan kurtulabilir
+ optimum çözümü garantiler

Kör arama stratejilerinin analizi

Criterion	Breadth First	Uniform Cost	Depth-First	Depth-Limited	Iterative Deepening	Bidirectional
Time	b^d	b^d	b^m	b^l	b^d	$b^{\frac{d}{2}}$
Space	b^d	b^d	bm	bl	bd	$b^{\frac{d}{2}}$
Optimal	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Complete	Yes	Yes	No	Yes, if $l \geq d$	Yes	Yes

b — branching factor
d — depth of shallowest solution
m — maximum depth of tree
l — depth limit

Uygulama my_search.m



breadth first yol=12 4 2 5 1
uniform cost yol=12 9 15 7 1
depth first yol=12 11 9 15 18 17 13 10 7 14 8 5 1
astar yol=12 9 15 7 1 sonraki derste ☺
best first yol=12 9 15 18 1

Olası dünyalar

- Hergün iki seçeneği olan bir karar verdiğimizi düşünelim. Bu durumda kararımızın etkisine göre iki olası dünyadan birinde yaşarız.
- 32 gün sonra 2^32 = yaklaşık 4.3 milyar olası dünyadan sadece birinde yaşıyor oluruz.
- Başka Faktörler
  - Doğduğumuzdan beri geçen zaman
  - Başkalarının kararlarının bizim dünyamıza etkisi
  - 2'den fazla seçeneği olan durumlar

Kaynaklar

- http://aima.cs.berkeley.edu/