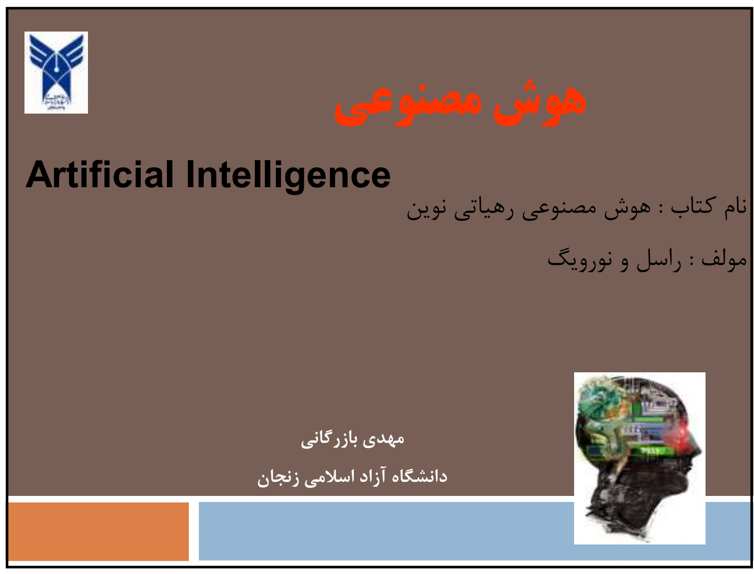


مقدمه

3

- عامل های حل مسأله
- انواع مسأله
- فرموله سازی مسأله
- مسائل نمونه
- الگوریتم های ابتدایی جستجو

عامل های حل مسأله

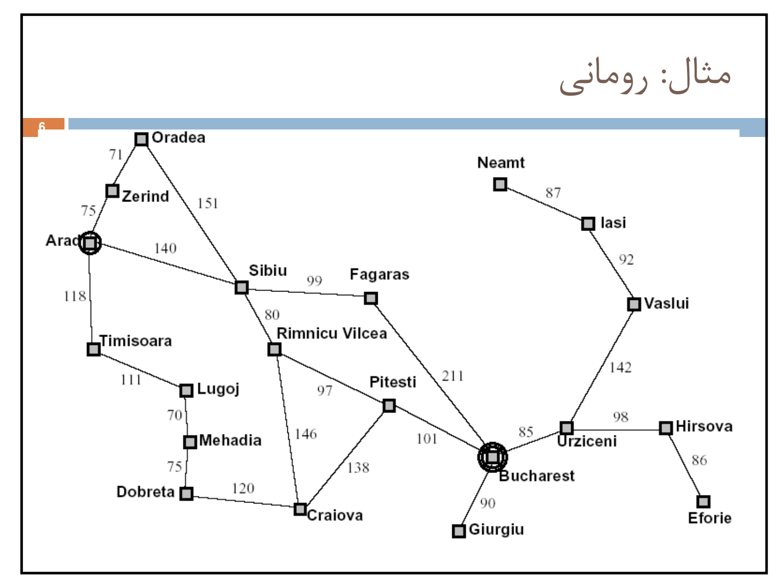
4

```
function SIMPLE-PROBLEM-SOLVING-AGENT( percept) returns an action
   static: seq, an action sequence, initially empty
           state, some description of the current world state
           goal, a goal, initially null
           problem, a problem formulation

   state ← UPDATE-STATE(state, percept)
   if seq is empty then do
      goal ← FORMULATE-GOAL(state)
      problem ← FORMULATE-PROBLEM(state, goal)
      seq ← SEARCH( problem)
   action ← FIRST(seq)
   seq ← REST(seq)
   return action
```

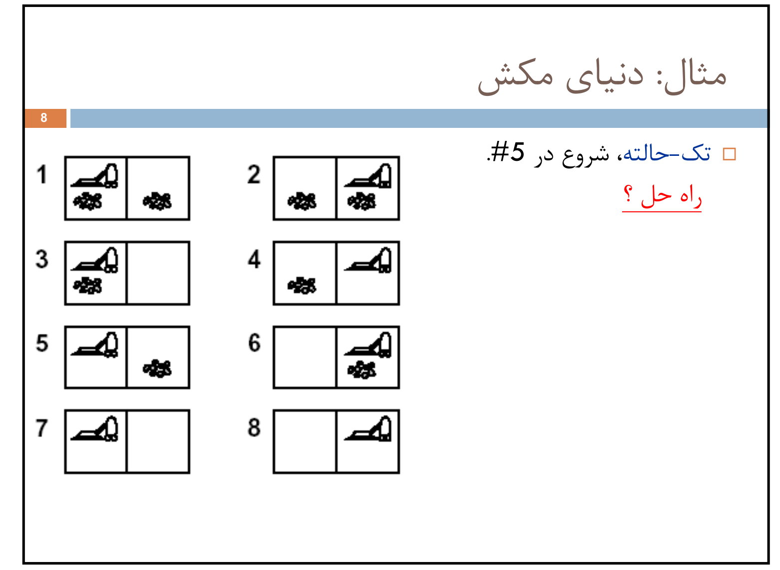
فرضیات در مورد محیط: ایستا، قابل مشاهده، گسسته و قطعی

مثال: رومانی
5
یک روز تعطیل در رومانی؛ مکان فعلی شهرآراد
پرواز فردا، بخارست را ترک می کند.
فرموله سازی هدف:
بودن در بخارست
فرموله سازی مسأله:
حالت ها: شهرهای مختلف
عملیات: رفتن از شهری به شهر دیگر
یافتن پاسخ:
دنباله ای از شهرها، مانند:
Arad → Sibiu → Fagaras → Bucharest

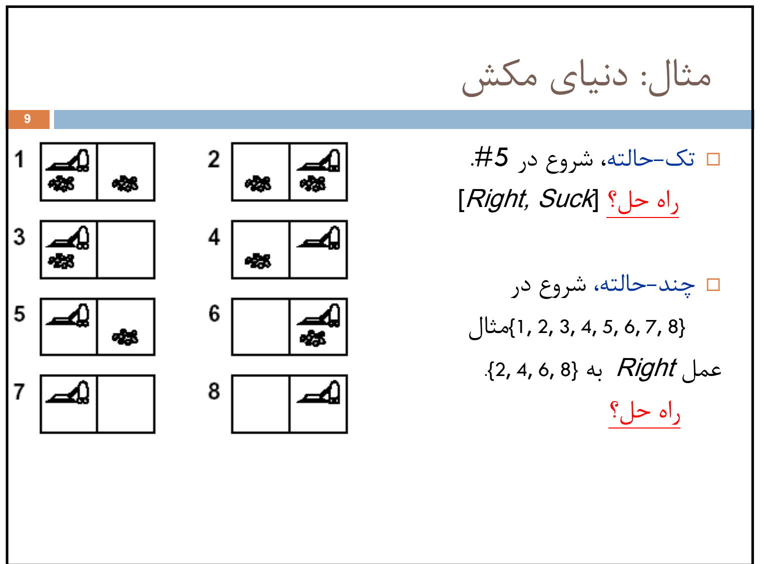


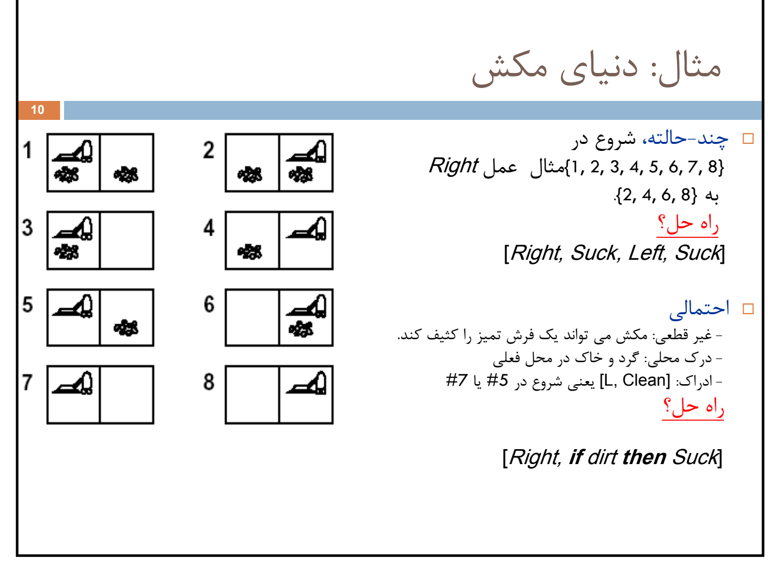
مثال: رومانی
6
Oradea
71
Neamt
Zerind
87
151
75
Iasi
Arad
140
92
Sibiu
99
Fagaras
118
80
Vaslui
Rimnicu Vilcea
Timisoara
142
111
211
Lugoj
97
Pitesti
70
98
Hirsova
146
85
Mehadia
101
Urziceni
86
75
138
Bucharest
Dobreta
120
90
Craiova
Eforie
Giurgiu

انواع مسأله
7
قطعی، کاملا مشاهده پذیر ← مسائل تک – حالته
عامل دقیقا می داند در چه حالتی خواهد بود؛ راه حل یک دنباله می باشد.
قطعی، مشاهده پذیر جزئی ← مسائل چند-حالته
ممکن است عامل ایده ای درباره اینکه کجاست نداشته باشد؛ راه حل یک دنباله است.
غیر قطعی و/یا مشاهده پذیر جزئی ← مسائل احتمالی
ادراک اطلاعات جدیدی درباره حالت فعلی فراهم می کند.
در حین اجرا باید از حسگرها استفاده کند.
راه حل به صورت یک درخت
اغلب جستجو و اجرا به صورت یک در میان (interleave)
فضای حالت ناشناخته ← مسائل اکتشافی (online)



مثال: دنیای مکش
8
تک-حالته، شروع در 5#.
راه حل ؟
1
2
3
4
5
6
7
8





فرموله سازی مسائل تک-حالته

11

یک مسأله بوسیله چهار مورد تعریف می شود:

۱. حالت اولیه مثلاً بودن در شهر Arad

۲. عمل ها یا تابع حالت بعدی

S(x)= مجموعه ای از زوج های عمل-حالت

- S(Arad) = {<Arad → Zerind, Zerind>, …}

۳. تابع تست هدف

- صریح: x = “at Bucharest”
- ضمنی: NoDirt(x)

۴. تابع هزینه مسیر :

- مثال: مجموع فواصل، تعداد عمل های انجام شده و …
- هزینه گام (Step cost): $c(x, a, y) \geq 0$

- راه حل: دنباله ای از عملیات که از حالت اولیه شروع و به حالت هدف ختم می شود.

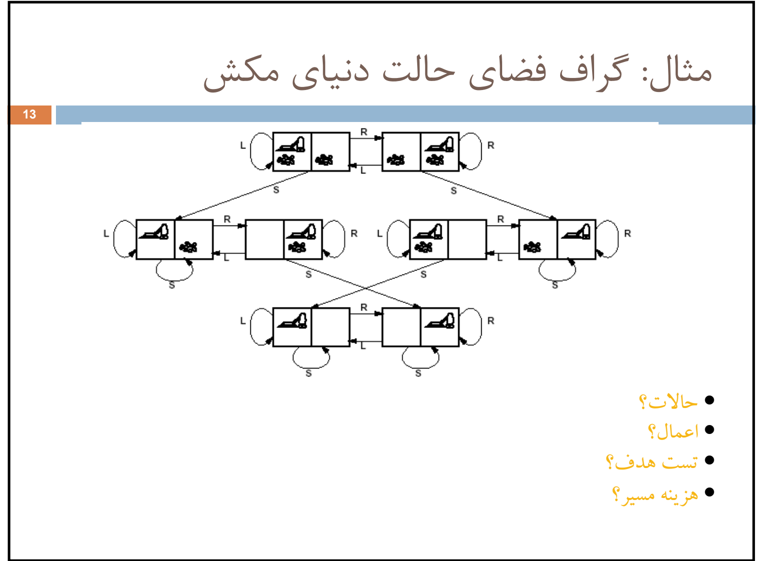
انتخاب یک فضای حالت

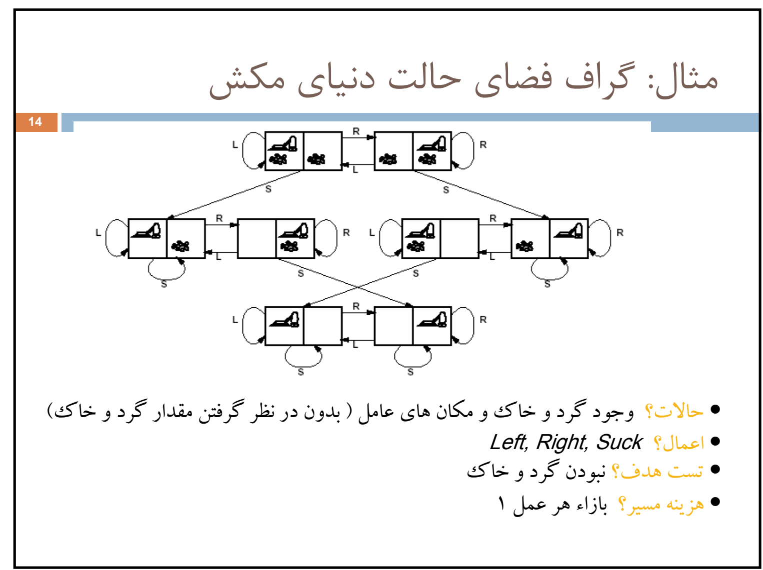
12

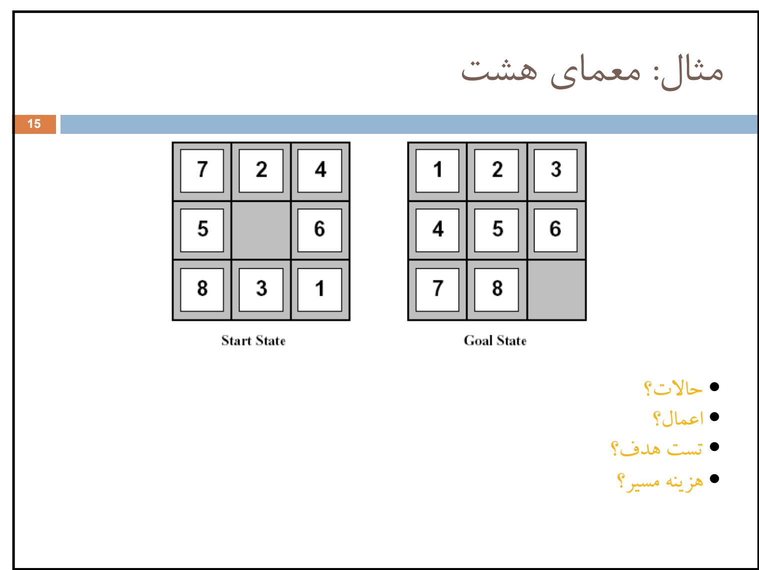
- دنیای واقعی به شدت پیچیده می باشد

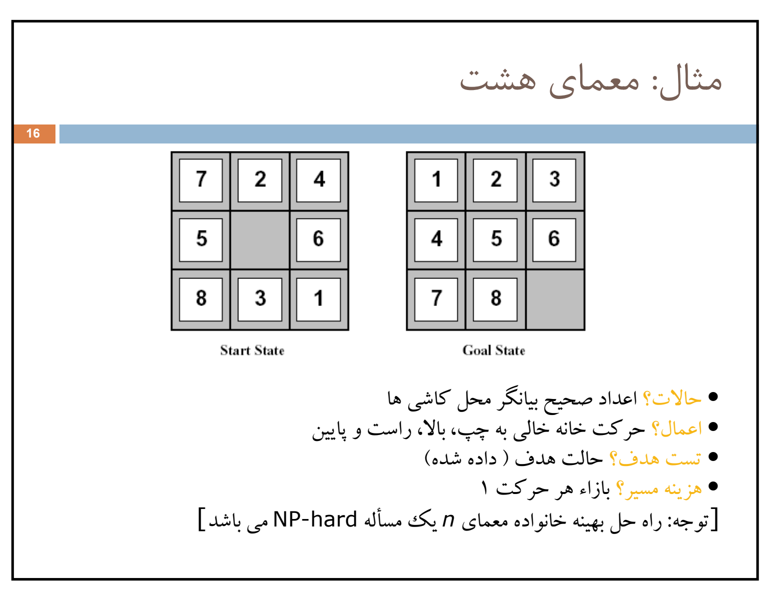
← بنابراین، برای حل مسأله باید فضای حالت انتزاعی باشد.

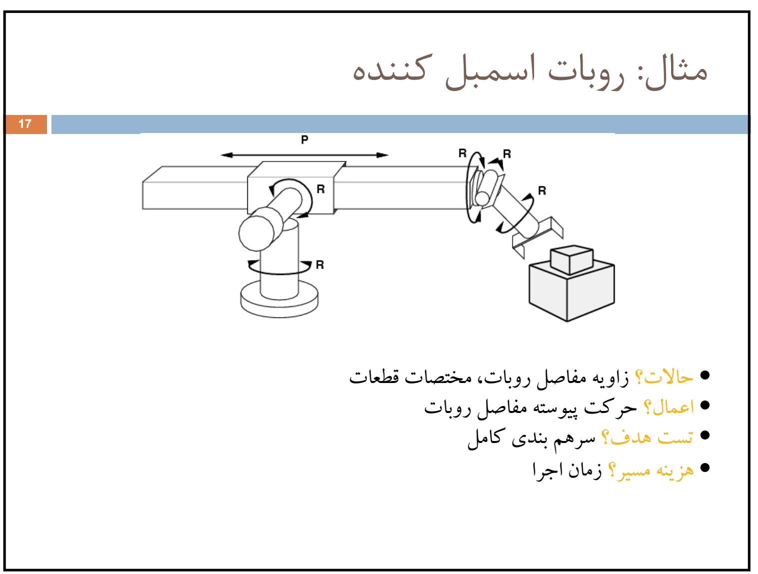
- حالت (انتزاعی) = مجموعه ای از حالت های واقعی
- عمل (انتزاعی) = ترکیبی پیچیده از عمل های واقعی
  - مثلا عمل Arad → Zerind می تواند مجموعه ای پیچیده از اعمال باشد.
- راه حل (انتزاعی) =
  - مجموعه ای از مسیرهای واقعی که در دنیای واقعی راه حل می باشند.
- هر عمل انتزاعی باید از مسأله اصلی ساده تر باشد!


مثال: گراف فضای حالت دنیای مکش
13
L
R
S
حالات؟
اعمال؟
تست هدف؟
هزینه مسیر؟


مثال: گراف فضای حالت دنیای مکش
14
L
R
S
حالات؟ وجود گرد و خاک و مکان های عامل (بدون در نظر گرفتن مقدار گرد و خاک)
اعمال؟ Left, Right, Suck
تست هدف؟ نبودن گرد و خاک
هزینه مسیر؟ بازاء هر عمل ۱


مثال: معمای هشت
15
7 2 4
5 6
8 3 1
Start State
1 2 3
4 5 6
7 8
Goal State
حالات؟
اعمال؟
تست هدف؟
هزینه مسیر؟

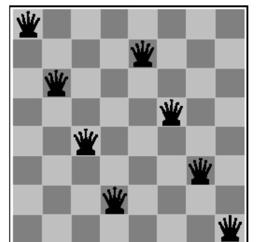

مثال: معمای هشت
16
7 2 4
5 6
8 3 1
Start State
1 2 3
4 5 6
7 8
Goal State
حالات؟ اعداد صحیح بیانگر محل کاشی ها
اعمال؟ حرکت خانه خالی به چپ، بالا، راست و پایین
تست هدف؟ حالت هدف (داده شده)
هزینه مسیر؟ بازاء هر حرکت ۱
[توجه: راه حل بهینه خانواده معمای n یک مسأله NP-hard می باشد]



مسأله هشت وزیر

18

- قراردادن هشت وزیر در صفحه شطرنج به طوریکه هیچ وزیری نتواند به وزیر دیگری حمله کند.



- آزمون هدف: ۸ وزیر روی صفحه شطرنج که با هم برخورد ندارند.
- هزینه مسیر: صفر
- حالات: ترتیب ۸ وزیر هر کدام در یک ستون
  مثال روبرو: {8, 6, 4, 2, 7, 5, 3, 1}
- عملگرها: انتقال یک وزیر دارای برخورد به مربع دیگری در همان ستون

الگوریتم های جستجوی درخت

19

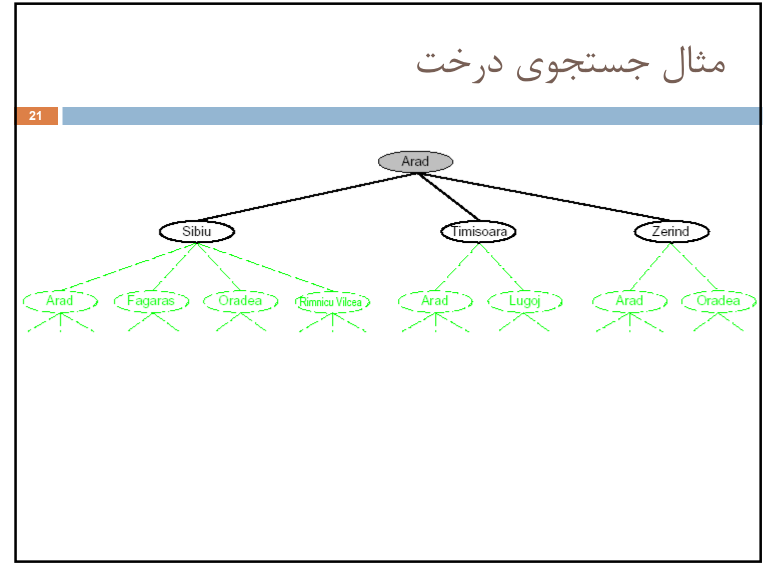
- ایده اصلی: کاوش offline و شبیه سازی شده فضای حالت بوسیله تولید حالات بعدی حالت هایی که تا کنون تولید شده اند.

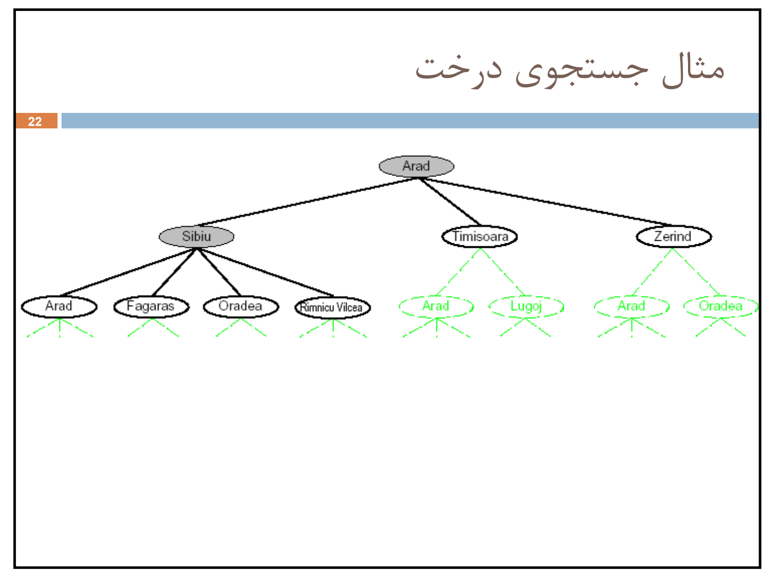
```
function TREE-SEARCH( problem, strategy) returns a solution, or failure
   initialize the search tree using the initial state of problem
   loop do
      if there are no candidates for expansion then return failure
      choose a leaf node for expansion according to strategy
      if the node contains a goal state then return the corresponding solution
      else expand the node and add the resulting nodes to the search tree
```

مثال جستجوی درخت

20

Arad
Sibiu Timisoara Zerind
Arad Fagaras Oradea Rimnicu Vilcea Arad Lugoj Arad Oradea



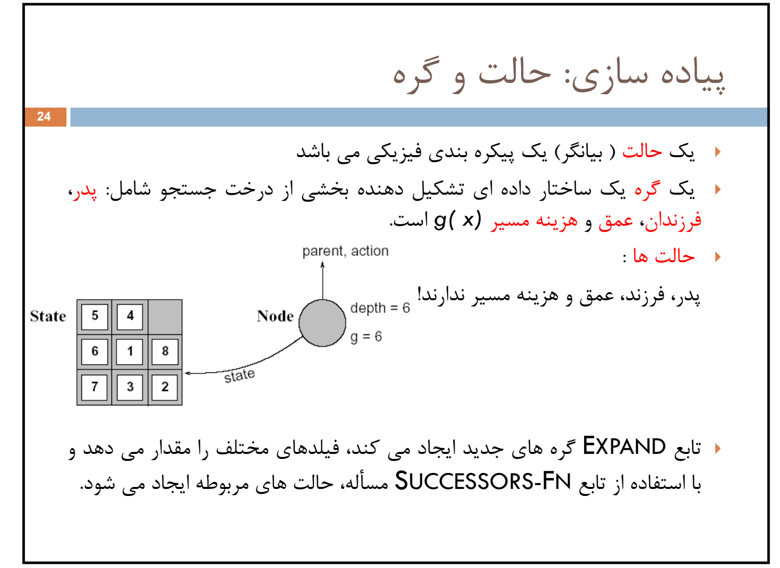


پیاده سازی: جستجوی عمومی درخت

23

```
function TREE-SEARCH( problem, fringe) returns a solution, or failure
   fringe ← INSERT(MAKE-NODE(INITIAL-STATE[problem]), fringe)
   loop do
       if fringe is empty then return failure
       node ← REMOVE-FRONT(fringe)
       if GOAL-TEST[problem](STATE[node]) then return SOLUTION(node)
       fringe ← INSERTALL(EXPAND(node, problem), fringe)

function EXPAND( node, problem) returns a set of nodes
   successors ← the empty set
   for each action, result in SUCCESSOR-FN[problem](STATE[node]) do
       s ← a new NODE
       PARENT-NODE[s] ← node;  ACTION[s] ← action;  STATE[s] ← result
       PATH-COST[s] ← PATH-COST[node] + STEP-COST(node, action, s)
       DEPTH[s] ← DEPTH[node] + 1
       add s to successors
   return successors
```



استراتژی های جستجو

25

- یک استراتژی بوسیله ترتیب گسترش گره ها تعریف می شود.
- ابعاد ارزیابی استراتژی ها:
  - کامل بودن – آیا در صورت وجود راه حل، همیشه راه حلی پیدا می کند؟
  - پیچیدگی زمانی – تعداد گره های تولید شده/گسترش یافته
  - پیچیدگی حافظه – حداکثر تعداد گره ها در حافظه
  - بهینگی – آیا همیشه کم هزینه ترین راه حل را پیدا می کند؟
- پیچیدگی زمان و فضا برحسب پارامترهای زیر سنجیده می شوند:
  - b : حداکثر فاکتور انشعاب درخت جستجو
  - d : عمق کم هزینه ترین راه حل
  - m : حداکثر عمق فضای حالت (ممکن است ∞ باشد)

استرتژی های جستجوی ناآگاهانه

26

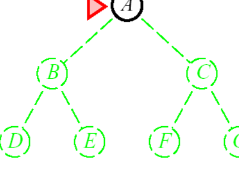
- استراتژی های **ناآگاهانه** تنها از اطلاعات موجود در تعریف مسأله استفاده می کنند.
- جستجوی اول-سطح (BFS)
- جستجوی هزینه-یکنواخت (UCS)
- جستجوی اول-عمق (عمق) (DFS)
- جستجوی با عمق محدود (DLS)
- جستجوی عمیق کننده تکراری (IDS)

جستجوی سطحی

27

- هربار سطحی ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
- **پیاده سازی:**
  - *fringe* یک صف FIFO می باشد. یعنی، فرزندان جدید به انتهای صف اضافه می شوند.

0: [A]

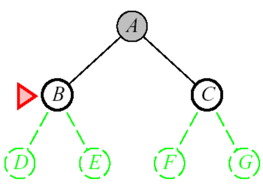


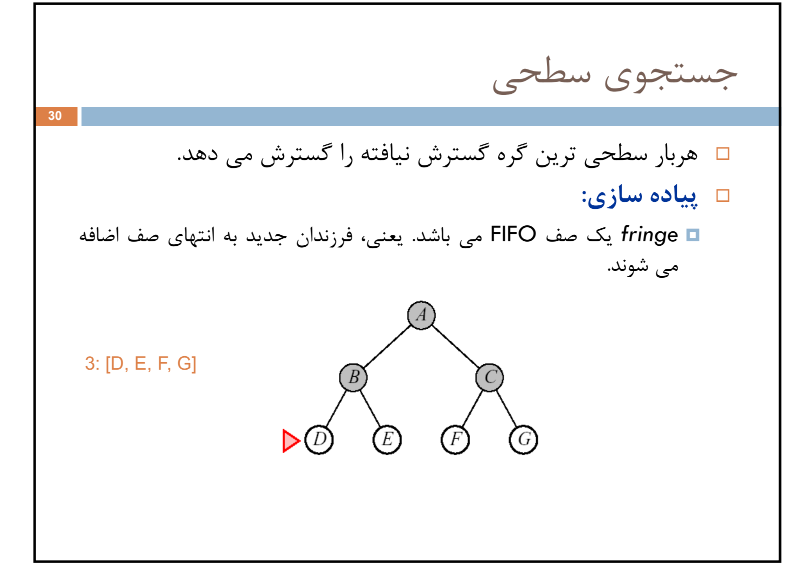
جستجوی سطحی

28

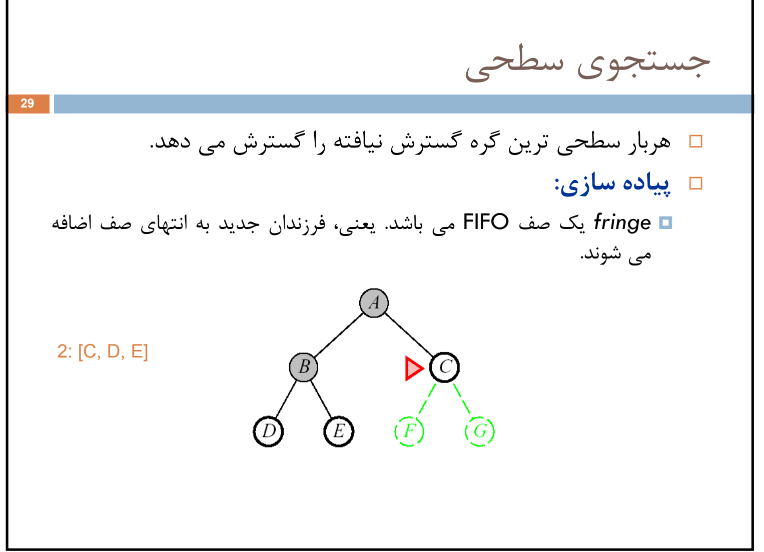
- هربار سطحی ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
- **پیاده سازی:**
  - *fringe* یک صف FIFO می باشد. یعنی، فرزندان جدید به انتهای صف اضافه می شوند.

1: [B, C]

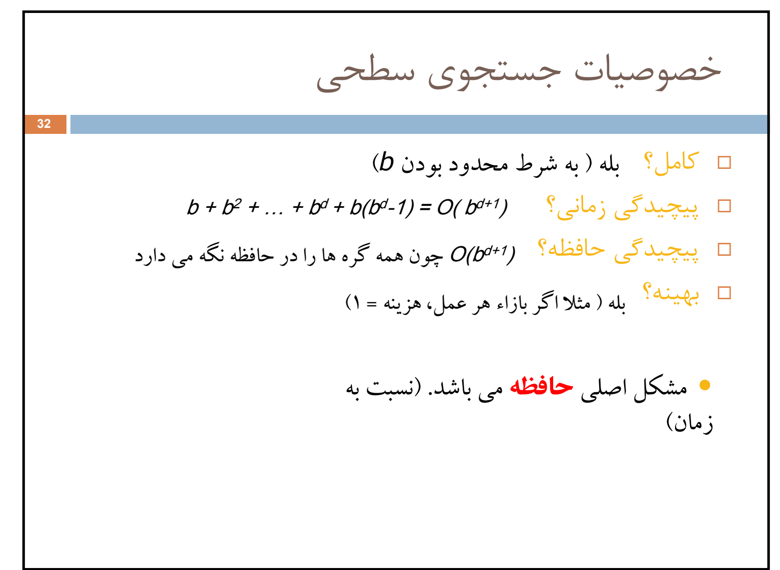




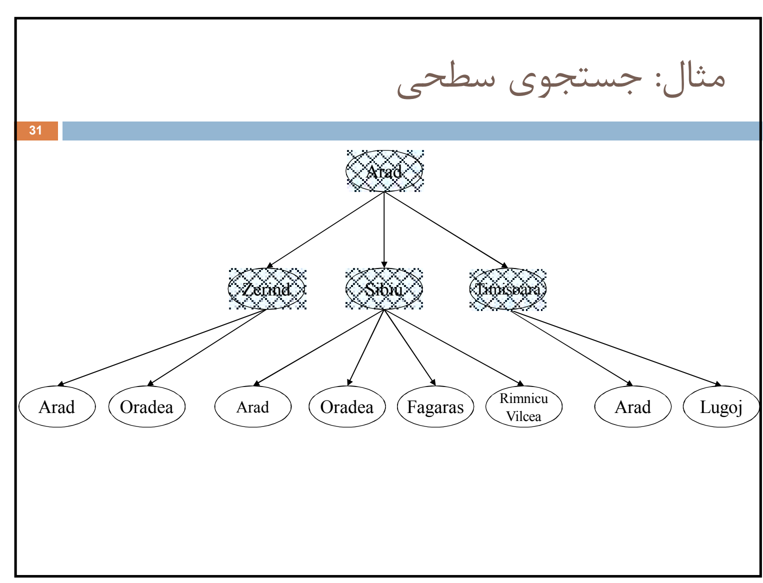
جستجوی سطحی
30
هربار سطحی ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe یک صف FIFO می باشد. یعنی، فرزندان جدید به انتهای صف اضافه می شوند.
3: [D, E, F, G]
A
B
C
D
E
F
G



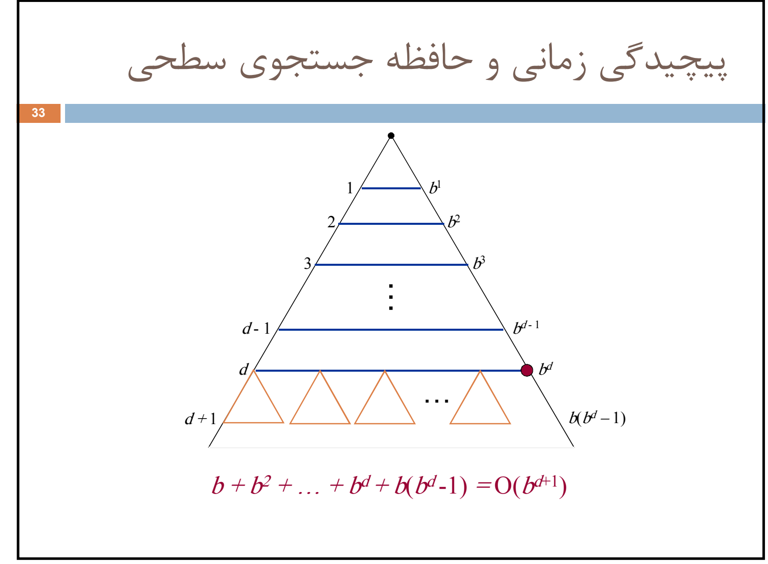
جستجوی سطحی
29
هربار سطحی ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe یک صف FIFO می باشد. یعنی، فرزندان جدید به انتهای صف اضافه می شوند.
2: [C, D, E]
A
B
C
D
E
F
G

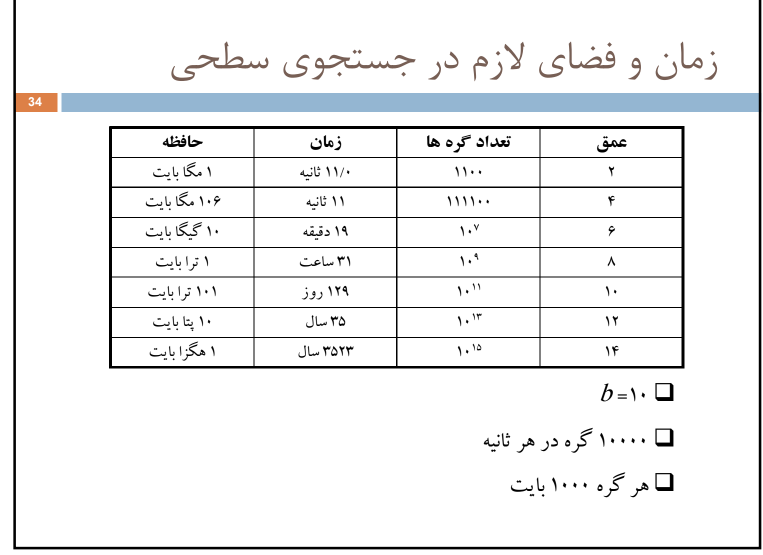


خصوصیات جستجوی سطحی
32
کامل؟ بله (به شرط محدود بودن b)
پیچیدگی زمانی؟ b + b2 + … + bd + b(bd-1) = O(bd+1)
پیچیدگی حافظه؟ O(bd+1) چون همه گره ها را در حافظه نگه می دارد
بهینه؟ بله (مثلا اگر بازاء هر عمل، هزینه = ۱)
مشکل اصلی حافظه می باشد. (نسبت به زمان)

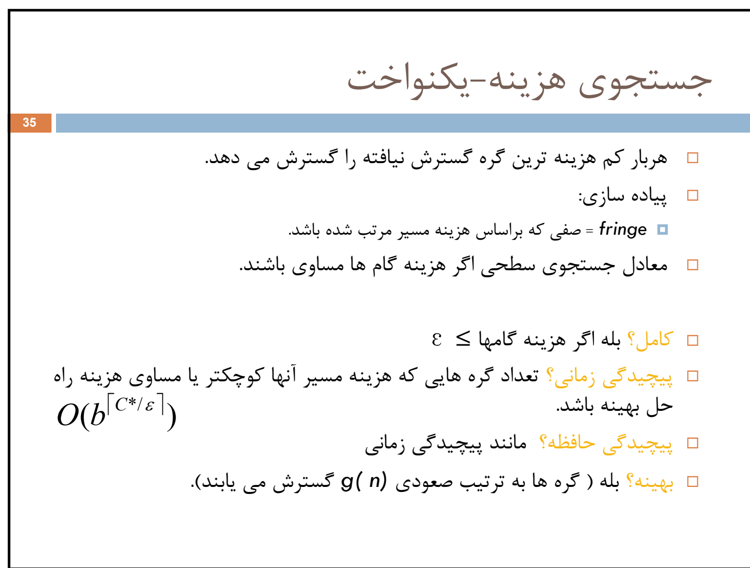


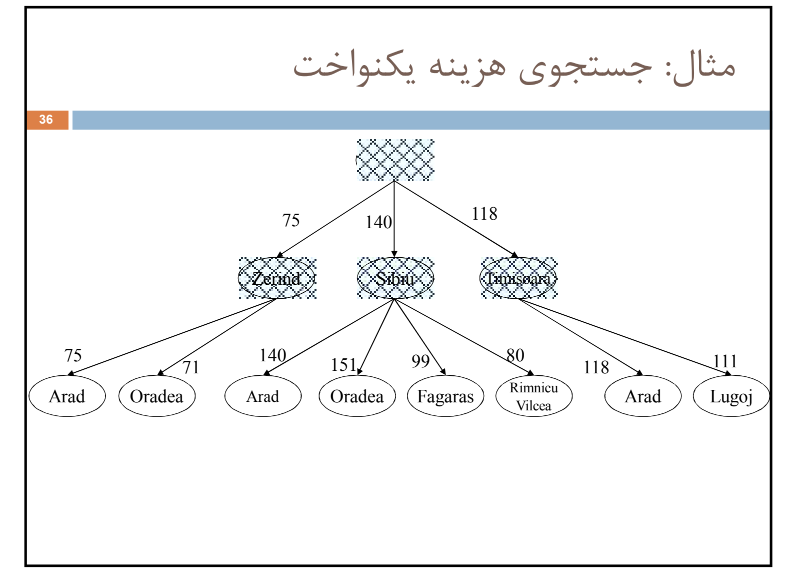
مثال: جستجوی سطحی
31
Arad
Zerind
Sibiu
Timisoara
Arad
Oradea
Arad
Oradea
Fagaras
Rimnicu Vilcea
Arad
Lugoj

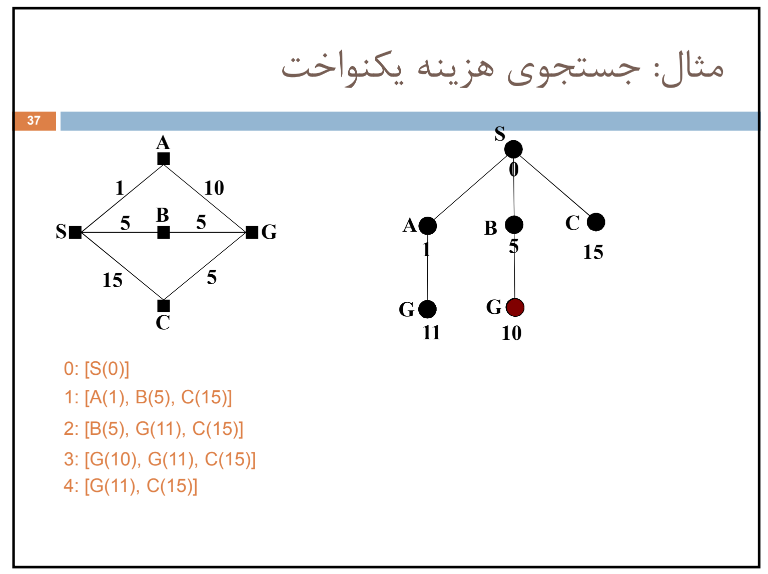




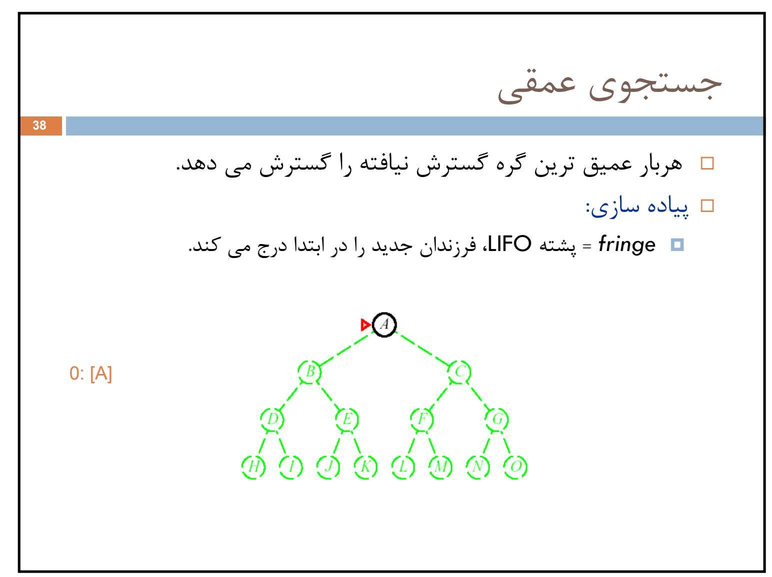
عمق	تعداد گره ها	زمان	حافظه
۲	۱۱۰۰	۱۱/۰ ثانیه	۱ مگا بایت
۴	۱۱۱۱۰۰	۱۱ ثانیه	۱۰۶ مگا بایت
۶	$۱۰^{۷}$	۱۹ دقیقه	۱۰ گیگا بایت
۸	$۱۰^{۹}$	۳۱ ساعت	۱ ترا بایت
۱۰	$۱۰^{۱۱}$	۱۲۹ روز	۱۰۱ ترا بایت
۱۲	$۱۰^{۱۳}$	۳۵ سال	۱۰ پتا بایت
۱۴	$۱۰^{۱۵}$	۳۵۲۳ سال	۱ هگزا بایت



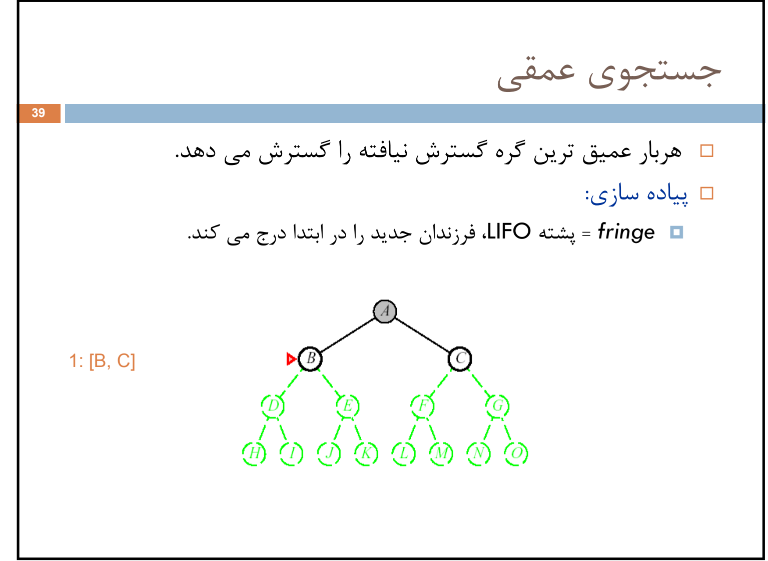




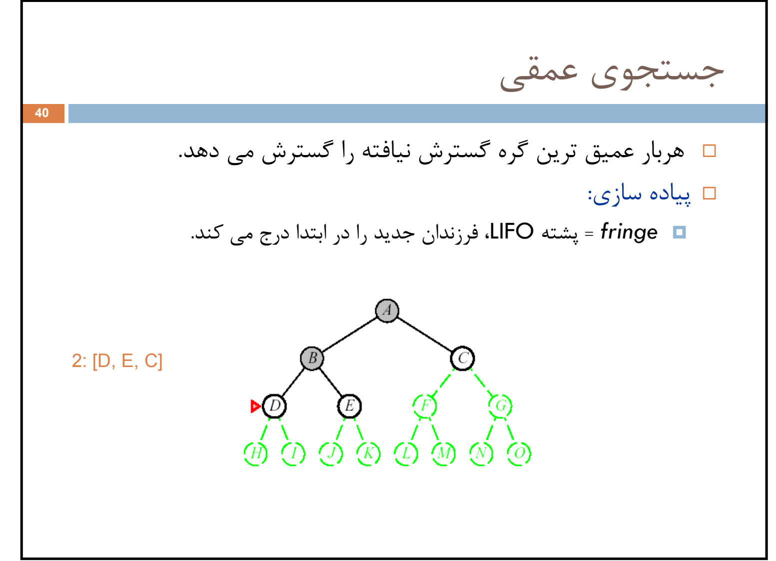
مثال: جستجوی هزینه یکنواخت
37
0: [S(0)]
1: [A(1), B(5), C(15)]
2: [B(5), G(11), C(15)]
3: [G(10), G(11), C(15)]
4: [G(11), C(15)]



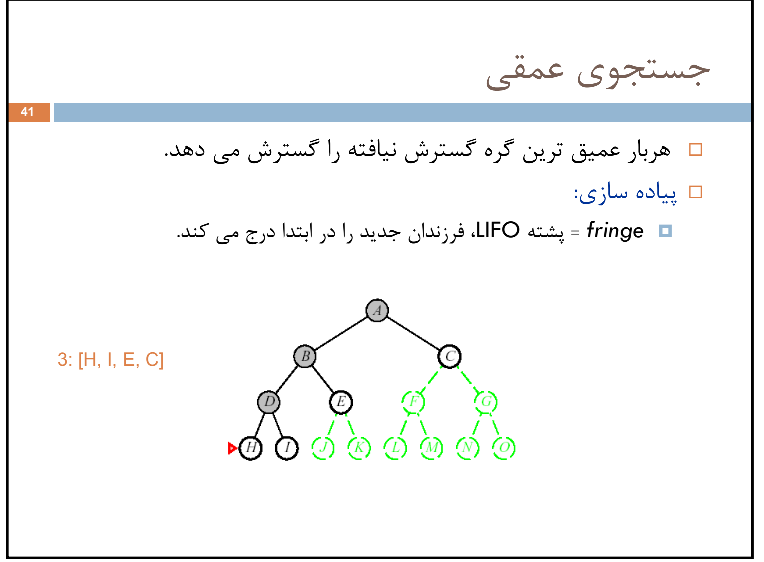
جستجوی عمقی
38
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
0: [A]

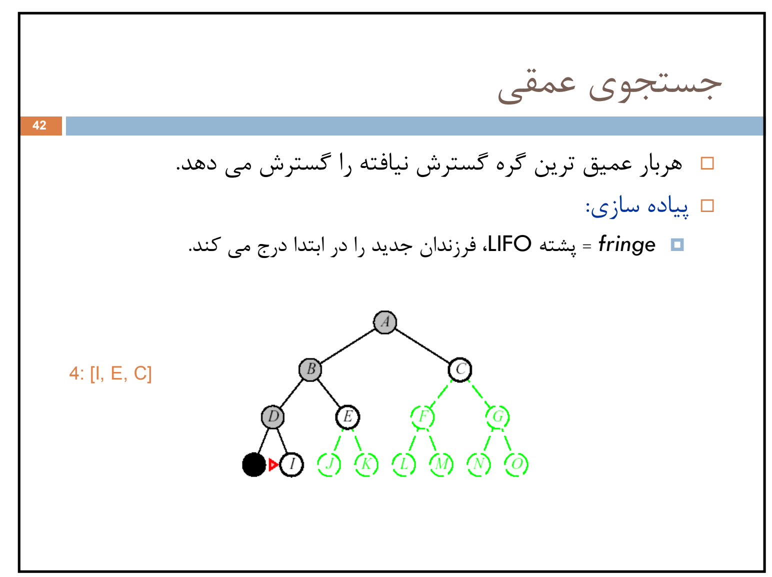


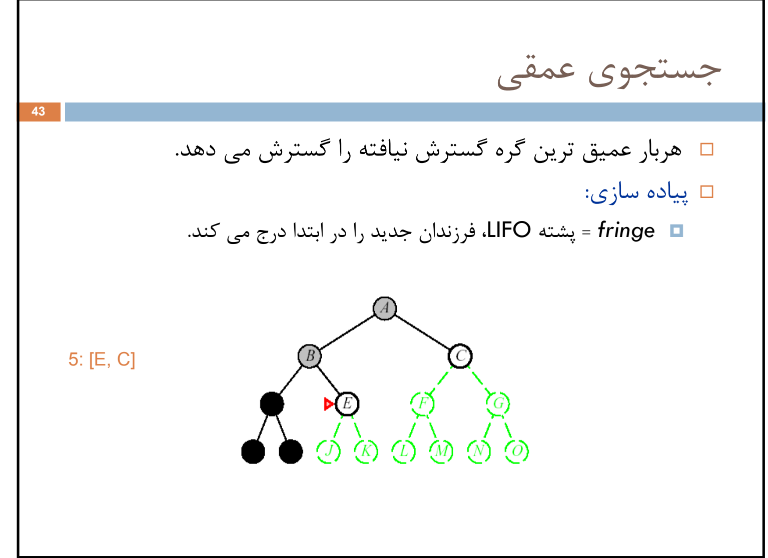
جستجوی عمقی
39
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
1: [B, C]

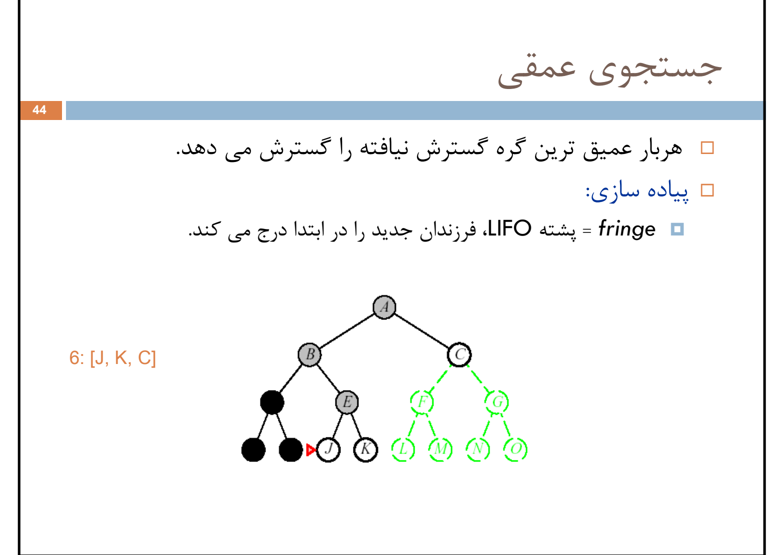


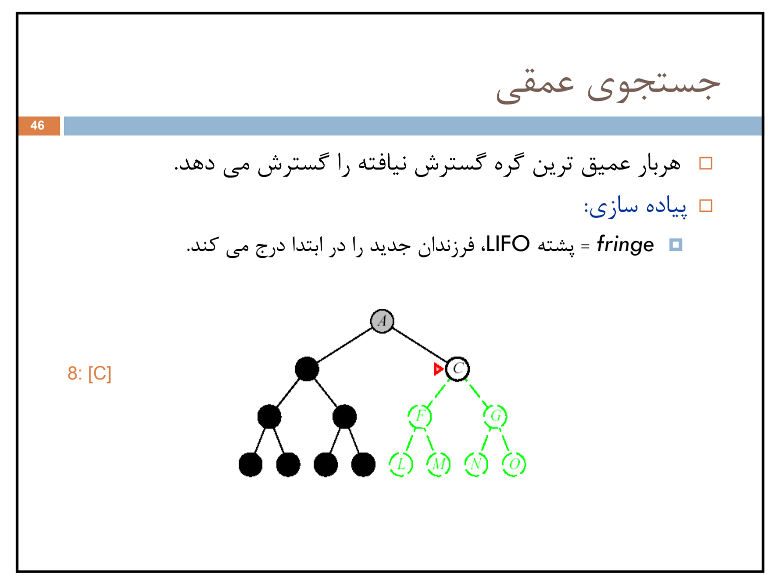
جستجوی عمقی
40
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
2: [D, E, C]

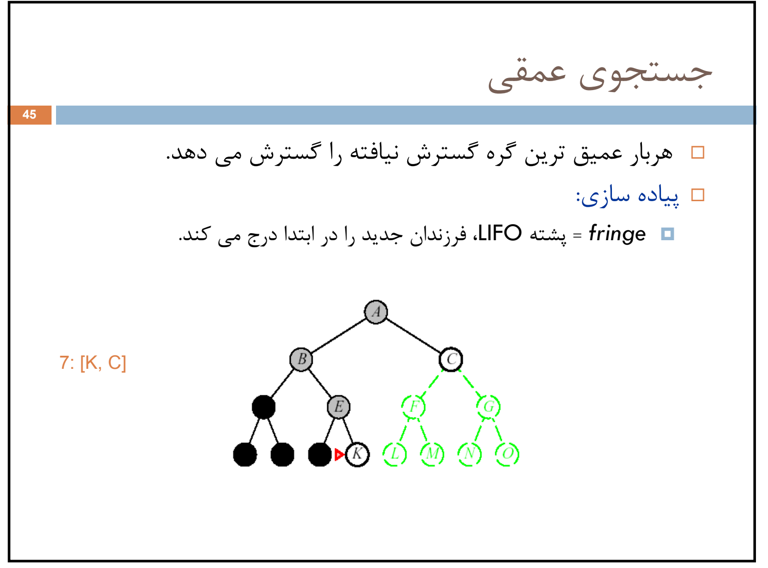

جستجوی عمقی
41
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
3: [H, I, E, C]
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
O

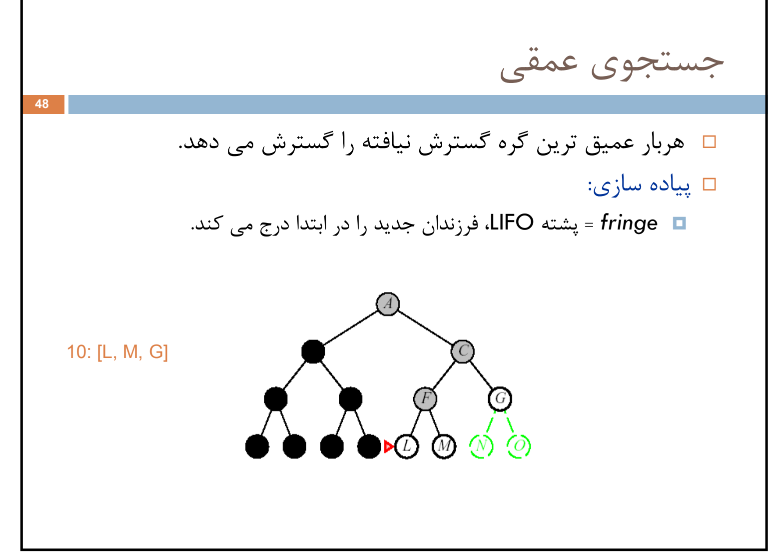

جستجوی عمقی
42
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
4: [I, E, C]
A
B
C
D
E
F
G
I
J
K
L
M
N
O

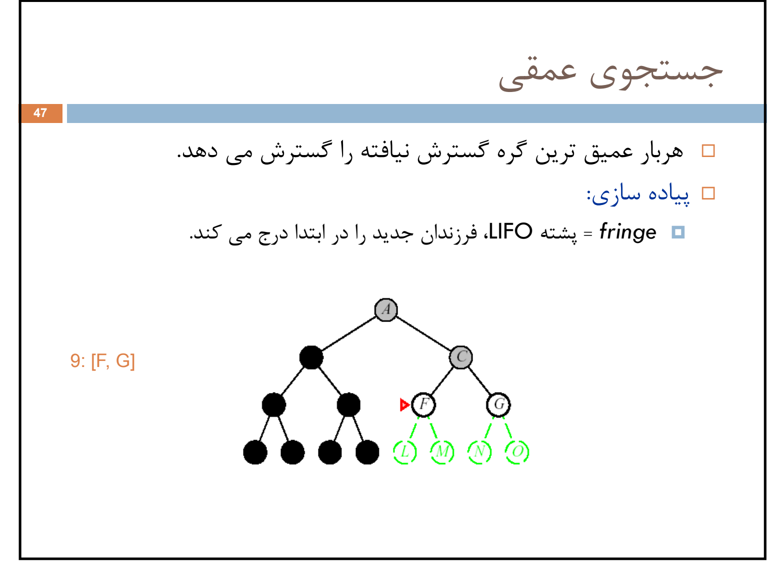

جستجوی عمقی
43
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
5: [E, C]
A
B
C
E
F
G
J
K
L
M
N
O

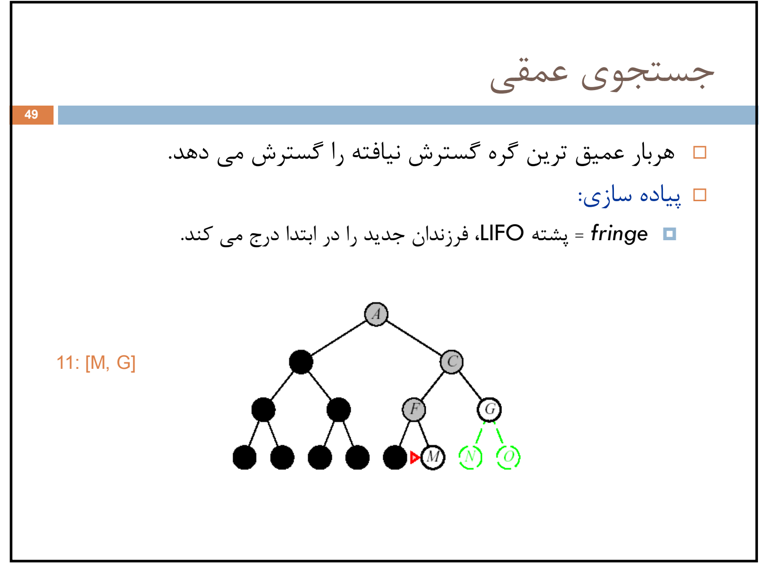

جستجوی عمقی
44
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
6: [J, K, C]
A
B
C
E
F
G
J
K
L
M
N
O

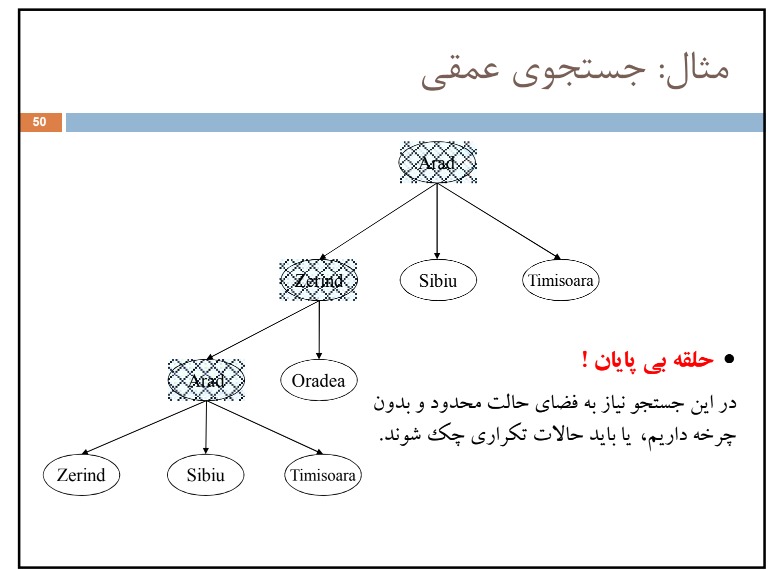

جستجوی عمقی
46
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
8: [C]


جستجوی عمقی
45
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
7: [K, C]


جستجوی عمقی
48
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
10: [L, M, G]


جستجوی عمقی
47
هربار عمیق ترین گره گسترش نیافته را گسترش می دهد.
پیاده سازی:
fringe = پشته LIFO، فرزندان جدید را در ابتدا درج می کند.
9: [F, G]





خصوصیات جستجوی عمقی

51

- کامل؟
  - خیر (در فضاهای حالت با عمق نامحدود، دارای حلقه)
  - برای اجتناب از حالات تکرای در طول مسیر، نیاز به اصلاح دارد.
  - بنابراین، در فضای حالت محدود کامل است.
- پیچیدگی زمانی؟ $O(b^m)$
  - در بدترین حالت تمام گره های درخت جستجو تولید می شوند
  - اگر m خیلی بیشتر از d باشد، بسیار زیاد
  - اگر تعداد راه حل ها زیاد باشد، می تواند بسیار سریعتر از جستجوی سطحی باشد
- پیچیدگی حافظه؟
  - $O(bm)$، به صورت خطی!
- بهینه؟ خیر

جستجوی با عمق محدود

52

= جستجوی عمقی با محدوده عمقی l
یعنی، فرزندان گره های واقع در عمق l تولید نخواهند شد.

- در این استراتژی با در نظر گرفتن یک محدوده عمقی مانند l از به دام افتادن جستجوی عمقی در یک حلقه بی پایان جلوگیری می شود.(برش روی درخت جستجو)
- مثلا در نقشه رومانی چون ۲۰ شهر وجود دارد بنابراین طول راه حل باید حداکثر ۱۹ باشد.
- بنابراین هیچ وقت گره ای با عمق بیش از ۱۹ بررسی نخواهد شد.
- اگر در محدوده عمقی l راه حلی وجود داشته باشد، بالاخره پیدا خواهد شد، اما هیچ تضمینی برای یافتن راه حل بهینه وجود ندارد.

جستجوی با عمق محدود

53

- کامل؟
  - بله (اگر $l \geq d$)
- پیچیدگی زمانی؟
  - $O(b^l)$
- پیچیدگی حافظه؟
  - $O(bl)$
- بهینه؟
  - خیر

جستجوی با عمق محدودپیاده سازی بازگشتی

54

```
function Depth-Limited-Search( problem, limit) returns soln/fail/cutoff
   Recursive-DLS(Make-Node(Initial-State[problem]), problem, limit)

function Recursive-DLS(node, problem, limit) returns soln/fail/cutoff
   cutoff-occurred? ← false
   if Goal-Test[problem](State[node]) then return Solution(node)
   else if Depth[node] = limit then return cutoff
   else for each successor in Expand(node, problem) do
      result ← Recursive-DLS(successor, problem, limit)
      if result = cutoff then cutoff-occurred? ← true
      else if result ≠ failure then return result
   if cutoff-occurred? then return cutoff else return failure
```

جستجوی عمیق کننده تکراری

55

- مشکل اصلی در جستجوی عمقی با عمق محدود شده (DLS) انتخاب یک محدوده عمقی مناسب است.
- در نقشه رومانی طول بزرگترین مسیر بین دو شهر ۹ می باشد(قطر)، و این محدوده عمقی مناسب تر از ۱۹ می باشد. اما در بیشتر فضاهای حالت انتخاب محدوده مناسب قبل از حل مسأله میسر نمی باشد.
- جستجوی عمیق کننده تکراری روشی برای تعیین محدوده عمقی مناسب با امتحان کردن تمامی محدوده ها (از صفر به بالا) می باشد. یعنی اول عمق صفر، بعد عمق ۱، بعد عمق ۲ و ...

جستجوی عمیق کننده تکراری

56

```
function Iterative-Deepening-Search( problem) returns a solution, or fail-
ure
   inputs: problem, a problem

   for depth ← 0 to ∞ do
      result ← Depth-Limited-Search( problem, depth)
      if result ≠ cutoff then return result
```

جستجوی عمیق کننده تکراری

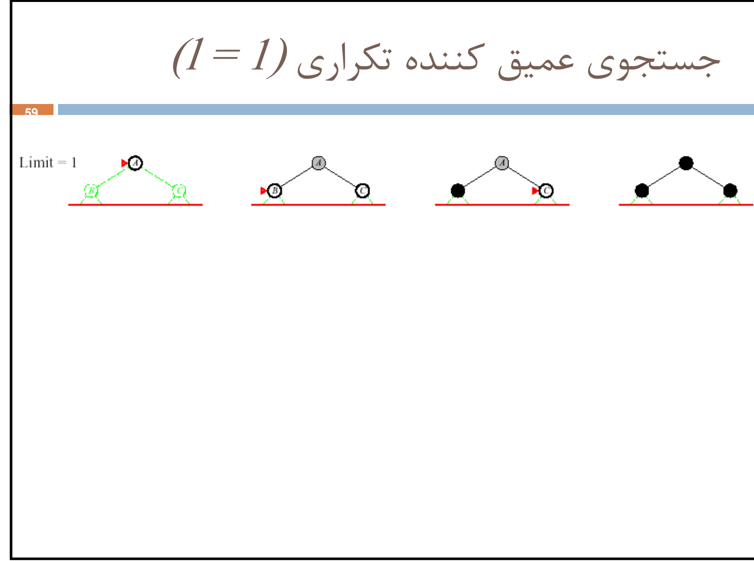
57

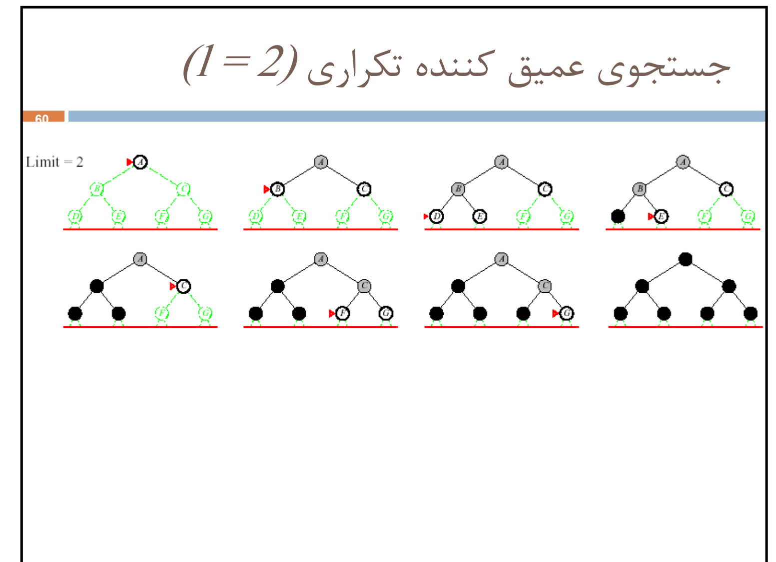
- جستجوی عمیق کننده تکراری مزایای جستجوی سطحی و عمقی را با هم ترکیب می کند:
  - مانند جستجوی سطحی کامل (اگر فاکتور انشعاب محدود باشد) و بهینه (اگر هزینه مسیر یک تابع غیر نزولی برحسب عمق باشد)است.
  - جستجوی عمق دارای مصرف حافظه خطی $O(bd)$ می باشد.
- این جستجو از نظر پیچیدگی زمانی مانند جستجوی محدود شده می باشد، به جز اینکه برخی حالات چند بار بسط داده می شوند.

جستجوی عمیق کننده تکراری $(l = 0)$

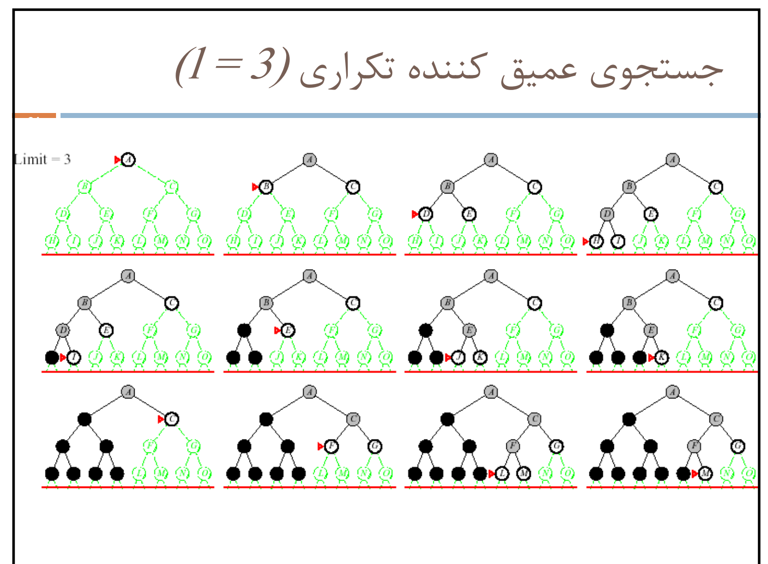
58

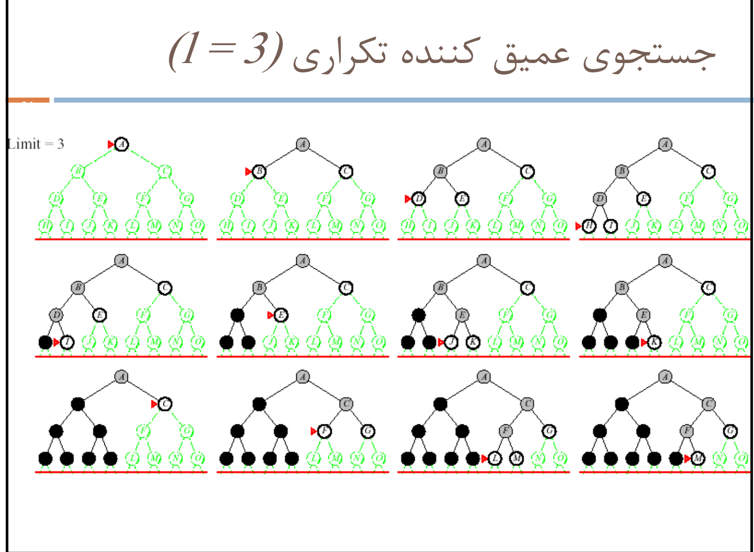
Limit = 0





جستجوی عمیق کننده تکراری $(l = 3)$





خواص جستجوی عمیق کننده تکراری

62

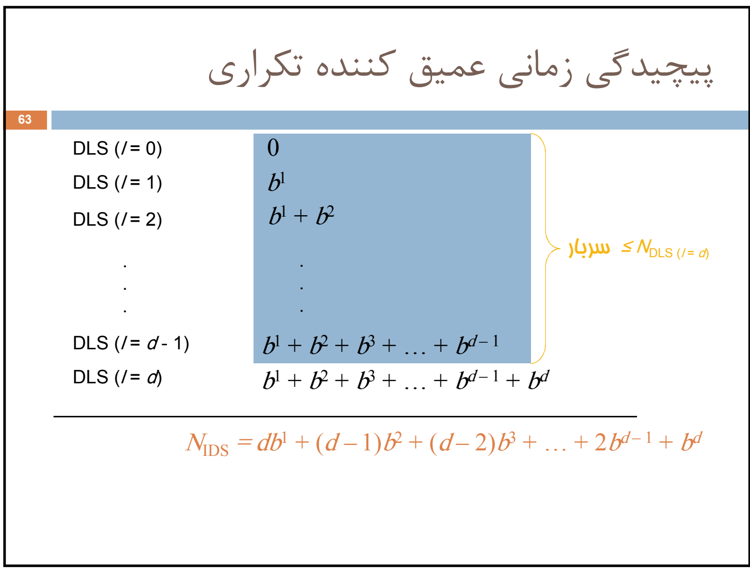
- کامل؟؟ بله (مانند جستجوی سطحی)
- پیچیدگی زمانی ؟؟

$$db^1 + (d-1)\,b^2 + \ldots + b^d = O(b^d)$$

- پیچیدگی حافظه؟؟ $O(bd)$
- بهینه ؟؟ بله، (مانند جستجوی سطحی)
- می تواند برای کاوش درخت جستجوی هزینه یکنواخت اصلاح شود!!!

پیچیدگی زمانی عمیق کننده تکراری

63



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

کارآیی *IDS*

64

- تعداد گره های تولید شده توسط DLS در عمق d با فاکتور انشعاب b:
  $N_{DLS} = b + b^2 + \ldots + b^{d-1} + b^d$
- تعداد گره های تولید شده توسط IDS در عمق d با فاکتور انشعاب b:
  $N_{IDS} = db^1 + (d-1)\,b^2 + \ldots + 2b^{d-1} + 1b^d$
- اگر $b = 10$ و $d = 5$:

$N_{DLS} = 10 + 100 + 1{,}000 + 10{,}000 + 100{,}000 = 111{,}110$

$N_{IDS} = 50 + 400 + 3{,}000 + 20{,}000 + 100{,}000 = 123{,}450$

- محاسبه میزان سربار:

$((123450 - 111110)/111110) * 100 = 11\%$

  - با افزایش فاکتور انشعاب b میزان سربار کاهش می یابد.
  - در بدترین حالت $b = 2$، سربار 100% است و این جستجو دو برابر زمان می برد.

جستجوی دوطرفه

65

- ایده: انجام جستجو در دو جهت به طور همزمان
  - رو به جلو: از حالت اولیه به سمت حالت هدف
  - رو به عقب: از حالت هدف به سمت حالت اولیه
- انگیزه: $b^{d/2} + b^{d/2}$ بسیار کمتر از b^d می باشد
- مثال: اگر راه حل یک مسأله در عمق $d = 6$ باشد و $b = 10$ آنگاه
  - جستجوی دو طرفه (در هر دو طرف جستجوی سطحی) ← 22,200 گره
  - جستجوی سطحی ← 11,111,000 گره

جستجوی دوطرفه

66

- پیچیدگی زمانی: $O(b^{d/2})$
- پیچیدگی حافظه: $O(b^{d/2})$
  - به منظور بررسی تعلق حداقل یکی از درخت ها باید در حافظه نگهداری شود
  - مصرف حافظه نمایی، بزرگترین ضعف جستجوی دوطرفه می باشد
- کامل بودن و بهینگی (برای هزینه های گام یکسان):
  - اگر در هر دو طرف از جستجوی سطحی استفاده شود

خلاصه الگوریتم ها

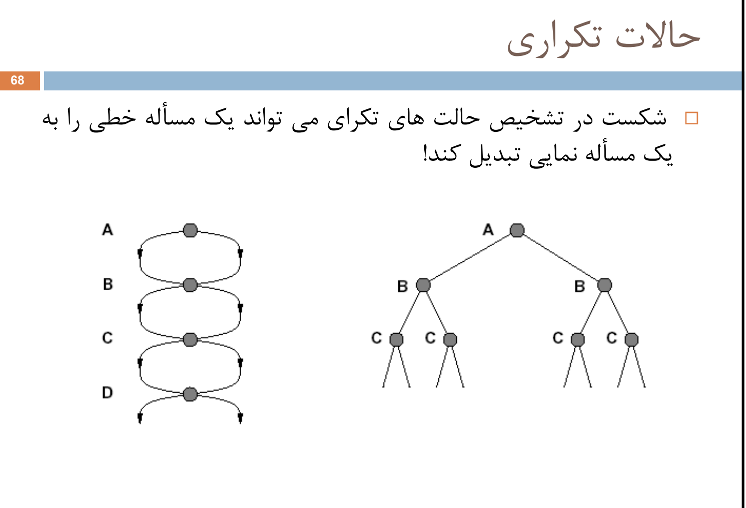
67

Criterion	Breadth-First	Uniform-Cost	Depth-First	Depth-Limited	Iterative Deepening
Complete?	Yes*	Yes*	No	Yes, if $l \geq d$	Yes
Time	b^{d+1}	$b^{\lceil C^*/\epsilon \rceil}$	b^m	b^l	b^d
Space	b^{d+1}	$b^{\lceil C^*/\epsilon \rceil}$	bm	bl	bd
Optimal?	Yes*	Yes	No	No	Yes*

حالات تکراری

68

- شکست در تشخیص حالت های تکرای می تواند یک مسأله خطی را به یک مسأله نمایی تبدیل کند!



جستجوی گراف

69

```
function GRAPH-SEARCH( problem, fringe) returns a solution, or failure
  closed ← an empty set
  fringe ← INSERT(MAKE-NODE(INITIAL-STATE[problem]), fringe)
  loop do
     if fringe is empty then return failure
     node ← REMOVE-FRONT(fringe)
     if GOAL-TEST[problem](STATE[node]) then return SOLUTION(node)
     if STATE[node] is not in closed then
        add STATE[node] to closed
        fringe ← INSERTALL(EXPAND(node, problem), fringe)
```

خلاصه

70

- فرموله سازی مسأله اغلب نیاز به انتزاع جزییات مسأله دارد، تا بتوان فضای حالتی بدست آوردکه به صورت مقرون به صرفه ای قابل کاوش کرد ن و جستجو باشد.
- انواع استراتژی های ناآگاهانه وجود دارد.
- مصرف حافظه جستجوی عمیق کننده تکراری دارای مرتبه خطی می باشد و زمان خیلی بیشتری نسبت به سایر روشهای ناآگاهانه مصرف نمی کند.