

Системи, основани на знания – 2020/2021 учебна година

***Тема 2, част 2:
Методи за неинформизирано търсене
на път до определена цел***

Примерни задачи от реалния свят: намиране на път (при routing в компютърни мрежи, при планиране на пътувания с автомобилен/самолетен транспорт и др.), задача за търговския пътник, навигация на роботи, задачи за планиране и конструиране (асемблиране) на сложни обекти и др.

Характеристики на алгоритмите за търсене:

- пълнота
- оптималност
- сложност
 - по време \approx брой изследвани възли
 - по памет \approx максимален размер на фронта

Необходимост от избягване на повторения и зацикляне.

Параметри на търсенето:

- дълбочина на „най-плитката“ цел – d (или максимална „дълбочина“ на пространството/графа на състоянията – m)
- коефициент на разклонение (разклоненост) на ГС – b

Методи за неинформирано („сляпо“) търсене

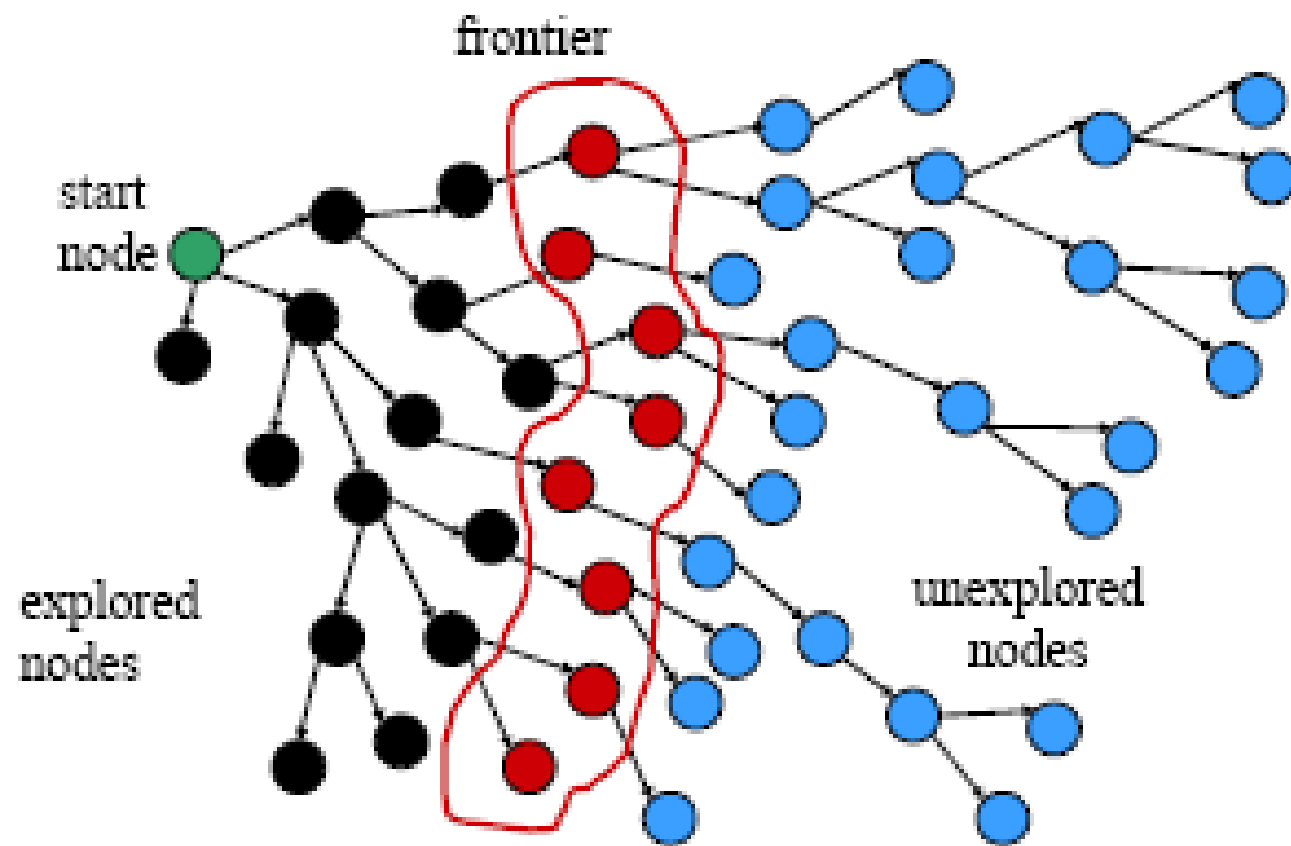
Обща характеристика: пълно изчерпване по твърда (фиксирана отнапред) стратегия. Прилагат се, когато липсва специфична информация за предметната област и оценяващата функция може само да провери дали дадено състояние е целево или не е.

Програмна реализация: чрез използване на работна памет (списък Open/frontier/fringe на т. нар. открити възли или списък от натрупани/изминати пътища, започващи от началния възел – нарича се още **фронт на търсенето**).

Общ алгоритъм за неинформирано търсене

Тръгва се от началния възел, като на всяка стъпка фронтът на търсенето се разширява в посока към неизследваните възли, докато се достигне до целеви възел.

Начинът, по който се разширява фронтът, както и правилата за избор на конкретен елемент на фронта, от който ще продължи неговото разширяване, определят ***стратегията на търсене (search strategy)***.



Неинформизирано търсене в дърво

Неформално описание на общия алгоритъм за неинформизирано търсене в дърво

```
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
```


Практическа реализация – представяне на възлите на графа на състоянията

В следващите дефиниции на функции за търсене (написани на псевдокод) ще предполагаме, че всеки възел от ГС е структура от данни с 5 компонента:

STATE: състоянието от пространството, на което съответства разглежданият възел

PARENT: възелът от ГС, като наследник на който е генериран разглежданият възел

ACTION: операторът, с помощта на който е бил генериран разглежданият възел

PATH-COST: цената (традиционно означавана с $g(n)$) на пътя от началното състояние до състоянието, съответно на разглеждания възел (в съответствие с указателите към родителските възли)

DEPTH: броят на стъпките, от които е съставен пътят от началното състояние до състоянието, съответно на разглеждания възел

Пример: задача за 8-те плъзгащи се плочки (the 8-puzzle problem)

7	2	4
5		6
8	3	1

Start State

	1	2
3	4	5
6	7	8

Goal State

7	2	4
5		6
8	3	1

Start State

	1	2
3	4	5
6	7	8

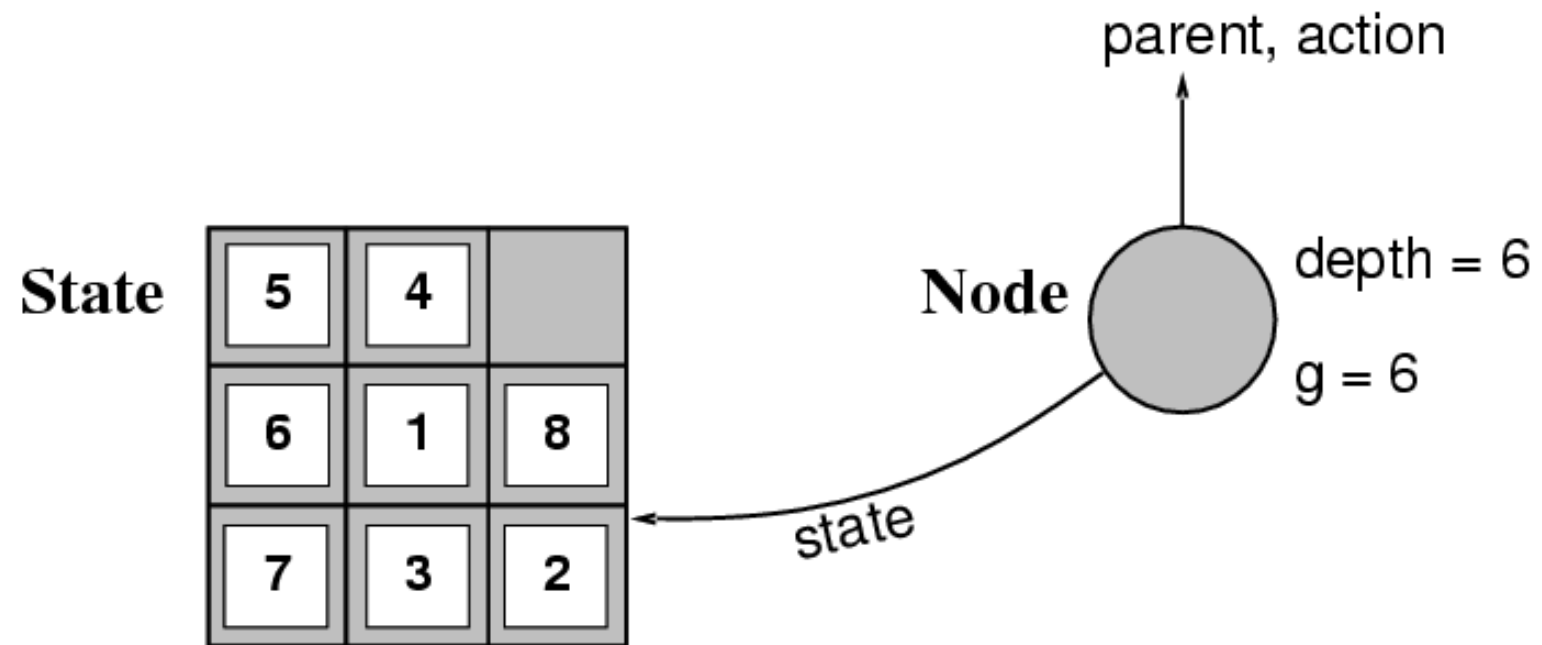
Goal State

Състояния: разположения (конфигурации) на 8-те плочки

Оператори: премествания на празното поле (left, right, up, down)

Проверка за достигане на целта: проверка за съвпадение с даденото целево състояние

Цена на пътя: 1 за всяко преместване



- Всяко състояние (state) представя конкретна конфигурация на плочките;
- Всеки възел от ГС (node) се представя като структура от данни, която съдържа компоненти (полета), описващи състоянието, родителя, използвания оператор, цената на съответната част от пътя и дълбочината на вложение;
- Функцията EXRAND генерира нови възли, като за целта попълва съответните компоненти (полета) и в частност използва функцията SUCCESSOR-FN за създаване на съответните състояния.

Формално описание на общия алгоритъм за неинформирано търсене в дърво

```
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
```

Описание на действието на използваните функции:

- $\text{FIRST}(list)$ връща първия елемент на $list$
- $\text{REMOVE-FRONT}(list)$ връща $\text{FIRST}(list)$ и го изтрива от $list$
- $\text{INSERT}(element, list)$ добавя $element$ към $list$ и връща получения списък
- $\text{INSERTALL}(elements, list)$ добавя множество от елементи към даден списък и връща като резултат получения списък
- $\text{SOLUTION}(node)$ връща като резултат поредицата от оператори, довели от началното до целевото състояние (в съответствие с указателите към родителските възли)

Забележка. Функцията TREE-SEARCH се изпълнява със стойност на аргумента $fringe$, равна на празен списък.

Неинформирано търсене в граф

Формално описание на общия алгоритъм за неинформирано търсене в граф

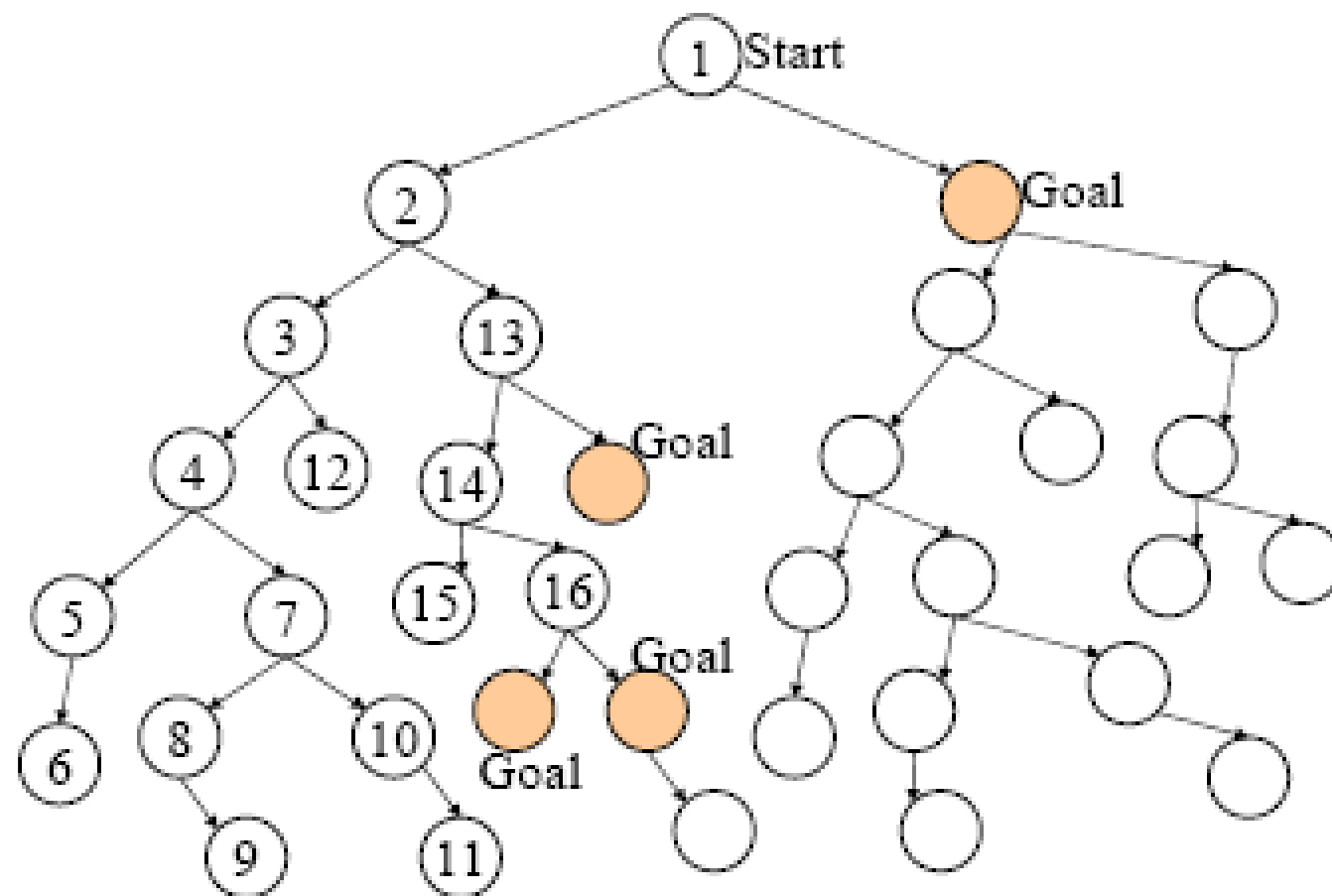
```
function GRAPH-SEARCH(problem, fringe) returns a solution, or failure
  closed ← an empty set
  fringe ← INSERT(MAKE-NODE(INITIAL-STATE[problem]), fringe)
  loop do
    if fringe is empty then return failure
    node ← REMOVE-FRONT(fringe)
    if GOAL-TEST[problem](STATE[node]) then return SOLUTION(node)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

Стратегии за неинформирано търсене

1. **Изчерпване (търсене) в дълбочина (*depth-first search*)** - добавяне на новите възли (новия възел) в началото на списъка Open/fringe.

fringe = **стек** (LIFO, put successors at front)

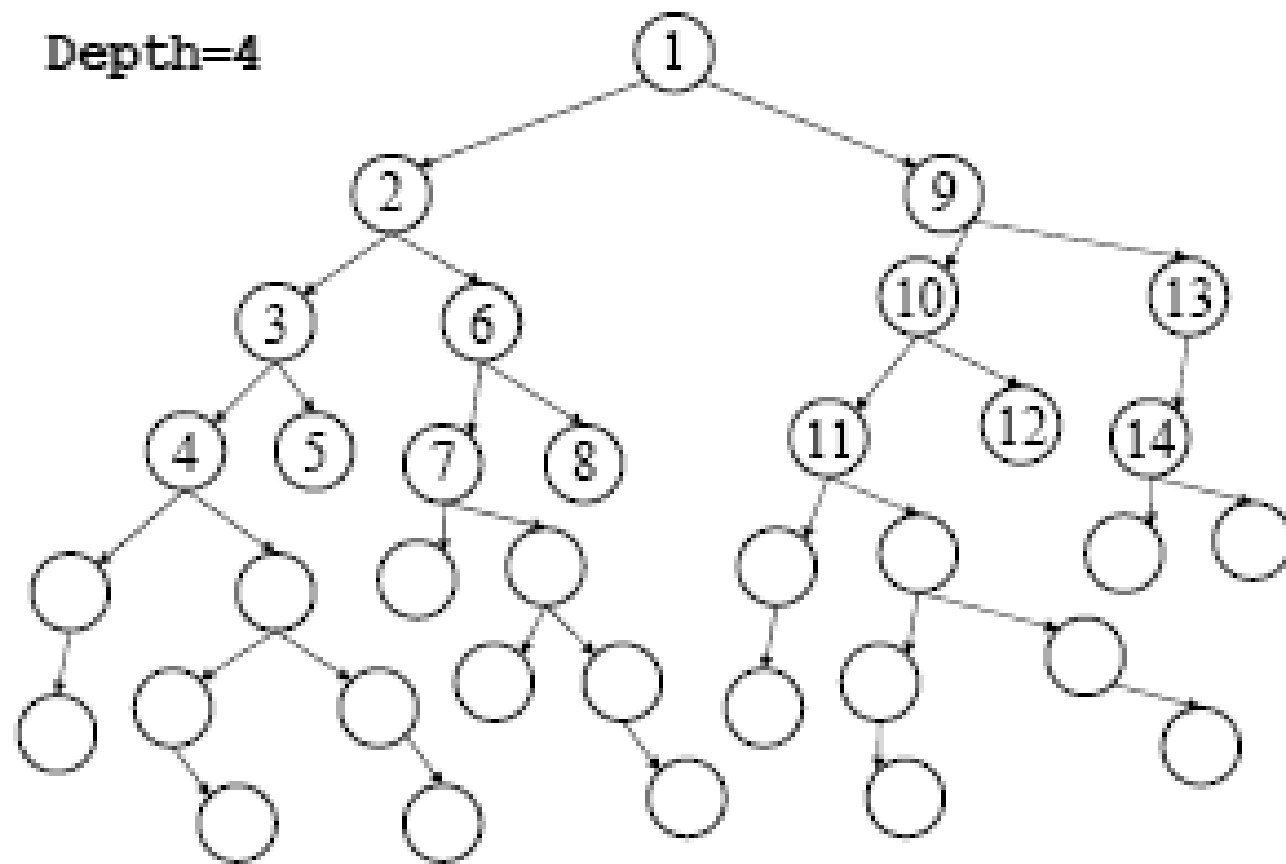
Търсенето е евтино (линейно по отношение на необходимата памет), но не е нито пълно, нито оптимално (завършва и е пълно, когато графът на състоянията е краен или поне не съществуват безкрайно дълги ациклични пътища в него).



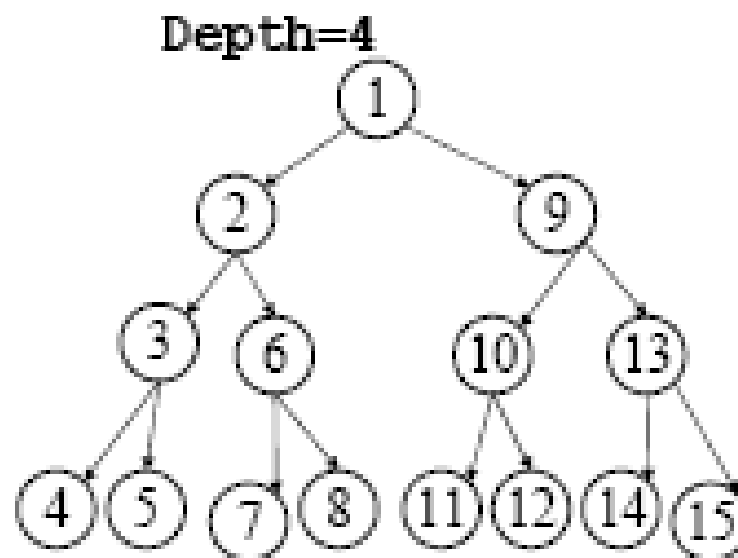
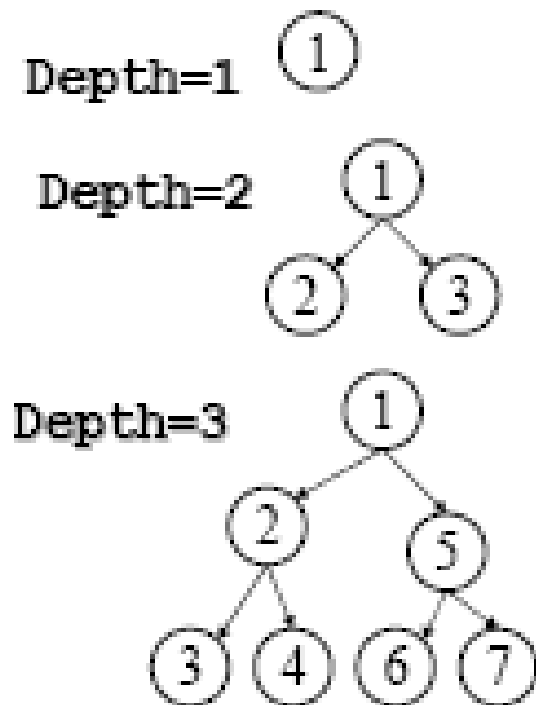
Построяване на пътя като списък от последователни състояния

- Фронтът на търсенето е списък от пътища (отначало е списък от един път, който включва само началното състояние).
- При търсенето в дълбочина фронтът се обработва като стек.
- Ако фронтът има вида $[p_1, p_2, \dots, p_n]$, то:
 - Избира се p_1 . Ако p_1 е довел до целта, **край**.
 - Ацикличните пътища $p_{1_1}, p_{1_2}, \dots, p_{1_k}$, които разширяват (продължават) p_1 , се добавят в началото на фронта (преди p_2), т.е. фронтът придобива вида $[p_{1_1}, p_{1_2}, \dots, p_{1_k}, p_2, \dots, p_n]$.
Преминава се към следващата стъпка от цикъла.

Вариант 1: търсене в дълбочина до определено ниво (depth-bound search, depth-limited search).



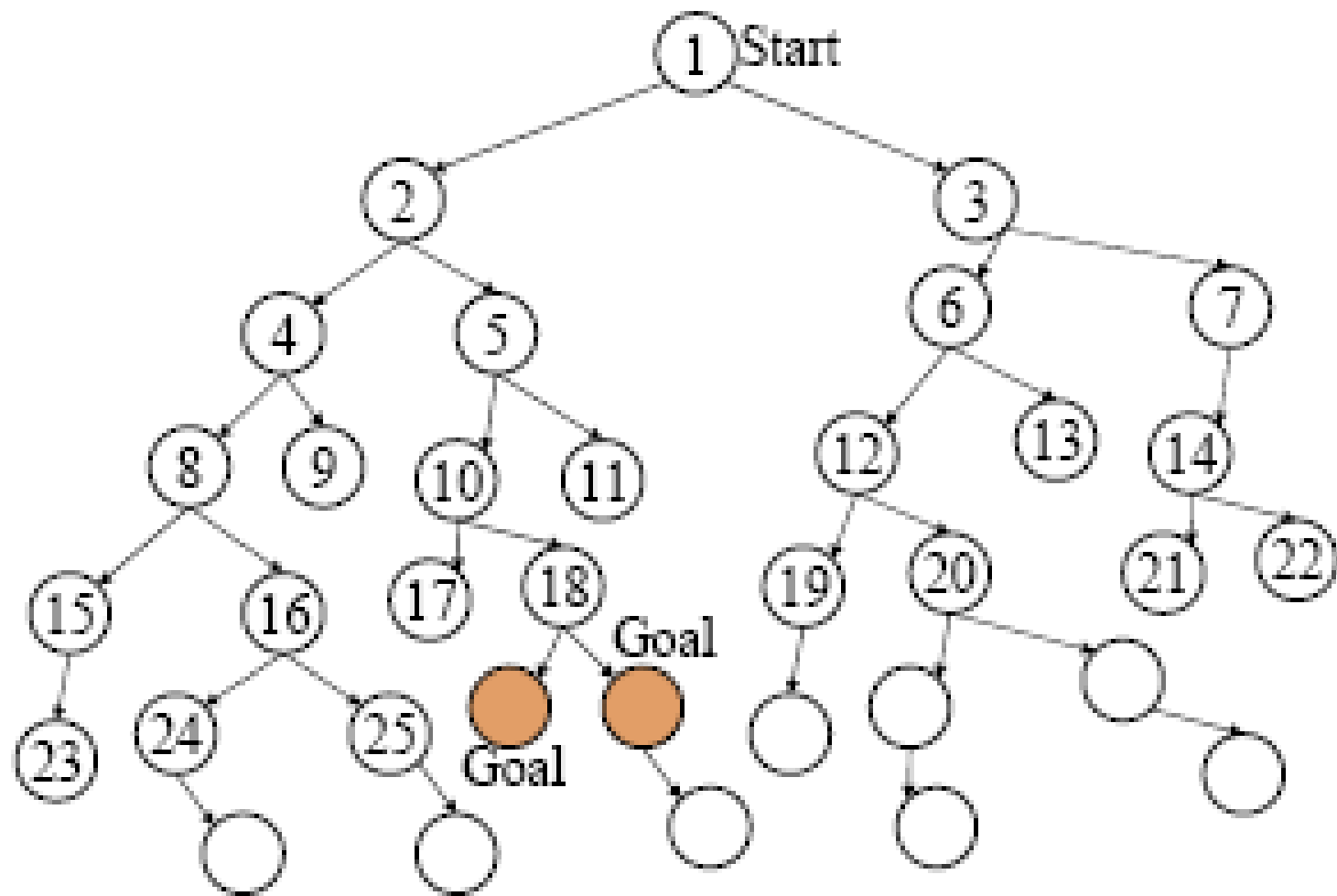
Вариант 2: итеративно търсене по нива (iterative deepening).



2. **Изчерпване (търсене) в широчина (*breadth-first search*)** - добавяне на новите възли в края на списъка Open/fringe.

fringe = **опашка** (FIFO, put successors at end)

Търсенето е пълно (когато всеки възел от ГС има краен брой наследници) и оптимално, но е скъпо (експоненциално по отношение на необходимата памет).



Построяване на пътя като списък от последователни състояния

- Фронтът на търсенето е списък от пътища (отначало е списък от един път, който включва само началното състояние).
- При търсенето в широчина фронтът се обработва като опашка.
- Ако фронтът има вида $[p_1, p_2, \dots, p_n]$, то:
 - Избира се p_1 . Ако p_1 е довел до целта, **край**.
 - Ацикличните пътища $p_{1_1}, p_{1_2}, \dots, p_{1_k}$, които разширяват (продължават) p_1 , се добавят в края на фронта (след p_n), т.е. фронтът придобива вида $[p_2, \dots, p_n, p_{1_1}, p_{1_2}, \dots, p_{1_k}]$.
Преминава се към следващата стъпка от цикъла.

Вариант: търсене с равномерна цена на пътя (uniform-cost search) - сортиране на списъка Open/fringe според цената на изминатия път.

Търсенето в широчина е частен случай на търсене с равномерна цена на пътя.

Оценка на сложността. Пространствената сложност (сложността по памет) на търсенето в дълбочина е $O(bm)$, докато пространствената сложност на търсенето в широчина е $O(b^{d+1})$. Времевата сложност на търсенето в дълбочина е $O(b^m)$, а времевата сложност на търсенето в широчина е $O(b^{d+1})$. При задачи, които имат много решения, търсенето в дълбочина може да бъде по-бързо от търсенето в широчина, тъй като има добър шанс да се намери решение след изследване на малка част от цялото ПС.

Търсенето в ограничена дълбочина (търсенето в дълбочина до определено ниво) има сложност, подобна на тази на търсенето в дълбочина (изисква $O(b^l)$ време и $O(bl)$ памет, където l е максималната дълбочина на изследване). Итеративното търсене по нива има времева сложност $O(b^d)$ и пространствена сложност $O(bd)$, където d е максималната дълбочина на изследване. Това е най-предпочитаният метод за търсене, когато ПС е с голям размер и няма никаква информация за дълбочината на решението.

Резюме на алгоритмите за неинформирано търсене

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

Означения:

b – коефициент на разклонение на ГС

d – дълбочина на най-плитката цел

m – максимална дълбочина на ГС (може да бъде ∞)

l – максимална дълбочина на изследване

C^* – цена на оптималния път (предполага се, че всички стъпки имат цена $\geq \epsilon$, $\epsilon > 0$)