



Veštačka inteligencija



Algoritmi za traženje u Python-u (I deo)

Neinformisani (slepi) algoritmi

- ▶ Traženje po širini (breadth-first search)
- ▶ Traženje po dubini (depth-first search)
- ▶ Traženje sa uniformnom cenom
- ▶ Traženje ograničeno po dubini
- ▶ Bidirekciono traženje
- ▶ Nedeterminističko traženje



Traženje po širini

- ▶ Formirati **red** koji inicijalno sadrži samo polazni čvor.
- ▶ Dok se **red** ne isprazni ili se ne dođe do ciljnog čvora, proveriti da li je prvi element ciljni čvor
 - ▶ Ako je prvi element ciljni čvor, ne raditi ništa.
 - ▶ Ako prvi element nije ciljni čvor, ukloniti ga iz **reda** i dodati sve njegove sledbenike (ako ih ima i ako nisu već posećeni) u **red**.
- ▶ Ako je pronađen ciljni čvor, pretraga je uspešno završena, u suprotnom pretraga je neuspešna.



Traženje po dubini

- ▶ Formirati **stek** koji inicijalno sadrži samo polazni čvor.
- ▶ Dok se **stek** ne isprazni ili se ne dođe do ciljnog čvora, proveriti da li je prvi element ciljni čvor
 - ▶ Ako je prvi element ciljni čvor, ne raditi ništa.
 - ▶ Ako prvi element nije ciljni čvor, ukloniti ga iz **steka** i dodati sve njegove sledbenike (ako ih ima i ako nisu već posećeni) na **stek**.
- ▶ Ako je pronađen ciljni čvor, pretraga je uspešno završena, u suprotnom pretraga je neuspešna.



Traženje po širini i dubini

▶ Format grafa

- ▶ { nodel : [dest11, dest12, ...],
- ▶ node2 : [dest21, dest22 , ...],
- ▶ ... }

▶ Funkcije

- ▶ breadth_first_search(graph, start, end)
- ▶ depth_first_search(graph, start, end)



Traženje po širini

- ▶ Funkcija `breadth_first_search` izdvaja listu čvorova koji čine put od polaznog do ciljnog čvora.
 - ▶ `breadth_first_search(graph, start, end)`
- ▶ Ulazni parametri:
 - ▶ Graf
 - ▶ Polazni čvor
 - ▶ Ciljni čvor



Traženje po širini

- ▶ Pomoćne strukture i promenljive koje koristi funkcija `breadth_first_search`:
 - ▶ Red čvorova (oznaka) koje treba posetiti
 - ▶ `queue_nodes`
 - ▶ Niz posećenih čvorova (oznaka)
 - ▶ `visited`
 - ▶ Niz parova čvorova (oznaka) oblika (čvor prethodnik)
 - ▶ `prev_nodes`
 - ▶ Niz čvorova (oznaka) na putu od polaznog do ciljnog čvora
 - ▶ `path`
 - ▶ Logička promenljiva koja ukazuje da je pronađen ciljni čvor
 - ▶ `found_dest`



Traženje po širini – Algoritam

- ▶ Dodati polazni čvor u red
- ▶ Dodati polazni čvor u posećene
- ▶ Dodati da polazni čvor nema prethodnika
- ▶ Sve dok ciljni čvor nije pronađen i red nije prazan
 - ▶ Pročitati čvor iz reda
 - ▶ Obraditi čvor
 - ▶ Za svaki odredišni čvor do kog postoji poteg od obrađenog čvora
 - ▶ Ako odredište nije posećeno
 - Postaviti prethodnika za odredište na obrađeni čvor
 - Ako je odredište jednako ciljnom čvoru postavi vrednost na pronađen i izaći iz petlje
 - Dodati odredište u posećene
 - Dodati odredište u red
- ▶ Ako je ciljni čvor pronađen:
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika ciljnog čvora
 - ▶ Sve dok prethodnik postoji
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika trenutnog čvora



Funkcija `breadth_first_search` (I)

- Početak funkcije `breadth_first_search` priprema pomoćne parametre i strukture za pretragu grafa

```
def breadth_first_search(graph, start, end):  
    if start is end:  
        path = list()  
        path.append(start)  
        return path  
  
    queue_nodes = queue.Queue(len(graph))  
    visited = set()  
    prev_nodes = dict()  
    prev_nodes[start] = None  
    visited.add(start)  
    queue_nodes.put(start)  
    found_dest = False
```



Funkcija breadth_first_search (II)

- ▶ Glavna petlja funkcije `breadth_first_search` koja obrađuje čvorove korišćenjem reda

```
while (not found_dest) and (not queue_nodes.empty()):  
    node = queue_nodes.get()  
    process(node)  
    for dest in graph[node]:  
        if dest not in visited:  
            prev_nodes[dest] = node  
            if dest is end:  
                found_dest = True  
                break  
    visited.add(dest)  
    queue_nodes.put(dest)
```



Funkcija breadth_first_search (III)

- ▶ Kraj funkcije `breadth_first_search` formira put od početnog do ciljnog čvora

```
path = list()
if found_dest:
    path.append(end)
    prev = prev_nodes[end]
    while prev is not None:
        path.append(prev)
        prev = prev_nodes[prev]
    path.reverse()
return path
```



Traženje po širini – Primer grafa i poziva

- ▶ Primer grafa

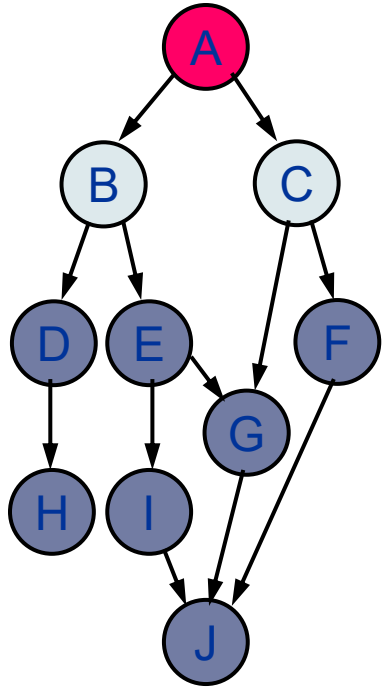
```
graph_simple = {  
    'A' : ['B', 'C'],  
    'B' : ['D', 'E'],  
    'C' : ['F', 'G'],  
    'D' : ['H'],  
    'E' : ['G', 'I'],  
    'F' : ['J'],  
    'G' : ['J'],  
    'H' : [],  
    'I' : ['J'],  
    'J' : []  
}
```

- ▶ Primer poziva funkcije za pretagu po širini

```
path = breadth_first_search(graph, start, end)
```

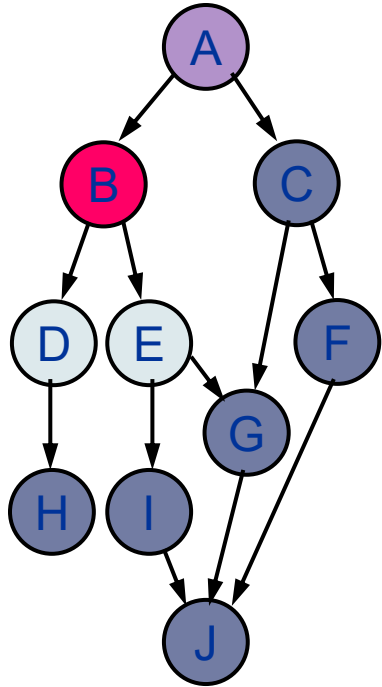


Traženje po širini (ilustracija)



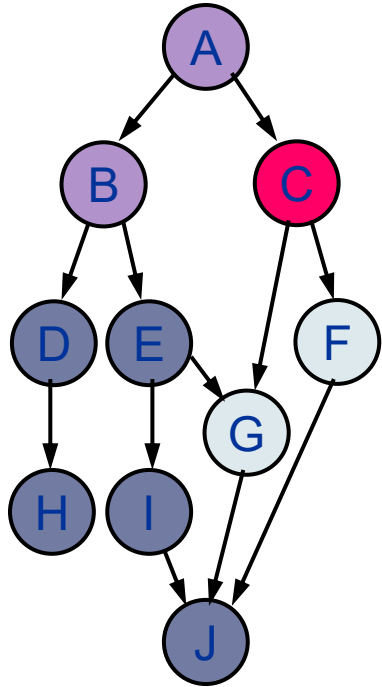
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |

Traženje po širini (ilustracija)



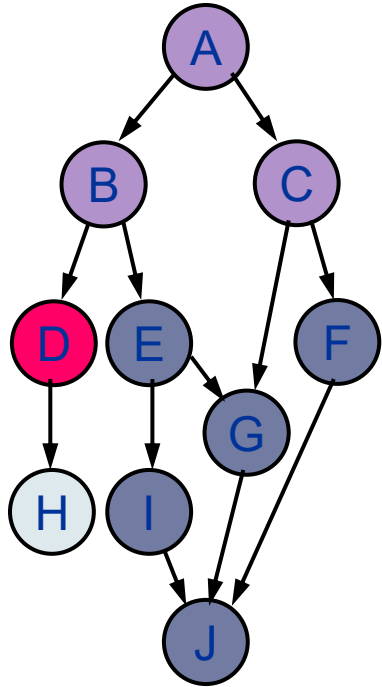
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | C D E | D E | A B | (D B) (E B) |

Traženje po širini (ilustracija)



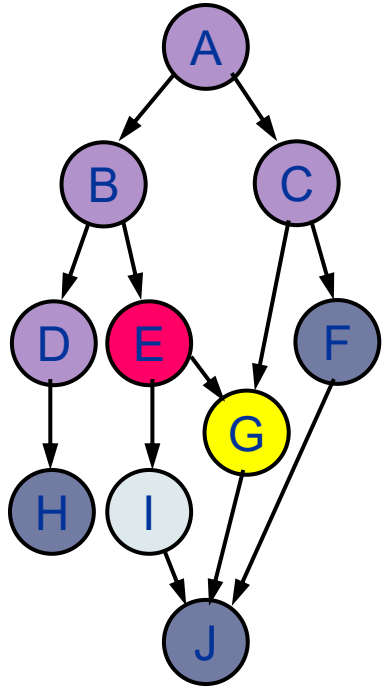
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | C D E | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | D E F G | F G | A B C | (F C) (G C) |

Traženje po širini (ilustracija)



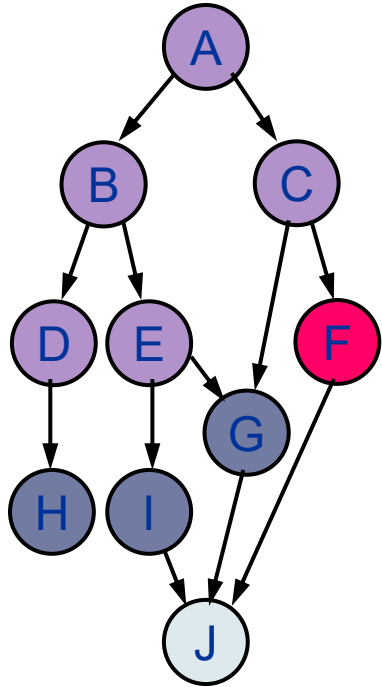
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | C D E | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | D E F G | F G | A B C | (F C) (G C) |
| 4 | E F G H | H | A B C D | (H D) |

Traženje po širini (ilustracija)



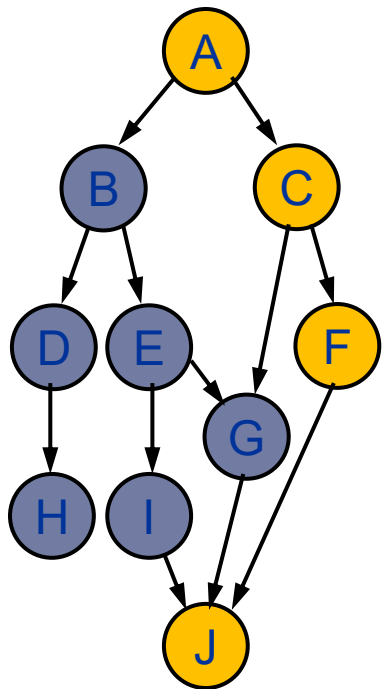
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|--------------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | C D E | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | D E F G | F G | A B C | (F C) (G C) |
| 4 | E F G H | H | A B C D | (H D) |
| 5 | F G H I | I | A B C D E | (I E) |

Traženje po širini (ilustracija)



| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | C D E | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | D E F G | F G | A B C | (F C) (G C) |
| 4 | E F G H | H | A B C D | (H D) |
| 5 | F G H I | I | A B C D E | (I E) |
| 6 | G H I J | J | A B C D E F | (J F) |

Traženje po širini (ilustracija)



- Prethodnici

- (A -) (B A) (C A) (D B) (E B) (F C)
(G C) (H D) (I E) (J F)

- Put

(A C F J)



Traženje po dubini

- ▶ Formirati **stek** koji inicijalno sadrži samo polazni čvor.
- ▶ Dok se **stek** ne isprazni ili se ne dođe do ciljnog čvora, proveriti da li je prvi element ciljni čvor
 - ▶ Ako je prvi element ciljni čvor, ne raditi ništa.
 - ▶ Ako prvi element nije ciljni čvor, ukloniti ga iz **steka** i dodati sve njegove sledbenike (ako ih ima i ako nisu već posećeni) na **stek**.
- ▶ Ako je pronađen ciljni čvor, pretraga je uspešno završena, u suprotnom pretraga je neuspešna.



Traženje po dubini

- ▶ Funkcija `depth_first_search` izdvaja listu čvorova koji čine put od polaznog do ciljnog čvora.
 - ▶ `depth_first_search(graph, start, end)`
- ▶ Ulazni parametri:
 - ▶ Graf
 - ▶ Polazni čvor
 - ▶ Ciljni čvor







Traženje po dubini

- ▶ Pomoćne strukture i promenljive koje koristi funkcija `depth_first_search`:
 - ▶ Stek čvorova (oznaka) koje treba posetiti
 - ▶ `stack_nodes`
 - ▶ Niz posećenih čvorova (oznaka)
 - ▶ `visited`
 - ▶ Niz parova čvorova (oznaka) oblika (čvor prethodnik)
 - ▶ `prev_nodes`
 - ▶ Niz čvorova (oznaka) na putu od polaznog do ciljnog čvora
 - ▶ `path`
 - ▶ Logička promenljiva koja ukazuje da je pronađen ciljni čvor
 - ▶ `found_dest`



Traženje po dubini – Algoritam

- ▶ Dodati polazni čvor na stek 
- ▶ Dodati polazni čvor u posećene
- ▶ Dodati da polazni čvor nema prethodnika
- ▶ Sve dok ciljni čvor nije pronađen i stek nije prazan 
 - ▶ Pročitati čvor iz steka 
 - ▶ Obraditi čvor
 - ▶ Za svaki odredišni čvor do kog postoji poteg od obrađenog čvora
 - ▶ Ako odredište nije posećeno
 - ☐ Postaviti prethodnika za odredište na obrađeni čvor
 - ☐ Ako je odredište jednako ciljnom čvoru postavi vrednost na pronađen i izaći iz petlje
 - ☐ Dodati odredište u posećene
 - ☐ Dodati odredište u stek 
- ▶ Ako je ciljni čvor pronađen:
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika ciljnog čvora
 - ▶ Sve dok prethodnik postoji
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika trenutnog čvora



Funkcija depth_first_search (I)

- Početak funkcije `depth_first_search` priprema pomoćne parametre i strukture za pretragu grafa

```
def depth_first_search(graph, start, end):  
    if start is end:  
        path = list()  
        path.append(start)  
        return path  
  
    stack_nodes = queue.LifoQueue(len(graph))  
    visited = set()  
    prev_nodes = dict()  
    prev_nodes[start] = None  
    visited.add(start)  
    stack_nodes.put(start)  
    found_dest = False
```



Funkcija depth_first_search (II)

- ▶ Glavna petlja funkcije `depth_first_search` koja obrađuje čvorove korišćenjem reda

```
while (not found_dest) and (not stack_nodes.empty()):  
    node = stack_nodes.get()  
    process(node)  
    #for dest in graph[node]:  
    for dest in reversed(graph[node]):  
        if dest not in visited:  
            prev_nodes[dest] = node  
            if dest is end:  
                found_dest = True  
                break  
            visited.add(dest)  
            stack_nodes.put(dest)
```



Funkcija depth_first_search (III)

- ▶ Kraj funkcije `depth_first_search` formira put od početnog do ciljnog čvora

```
path = list()
if found_dest:
    path.append(end)
    prev = prev_nodes[end]
    while prev is not None:
        path.append(prev)
        prev = prev_nodes[prev]
    path.reverse()
return path
```



Traženje po dubini – Primer grafa i poziva

▶ Primer grafa

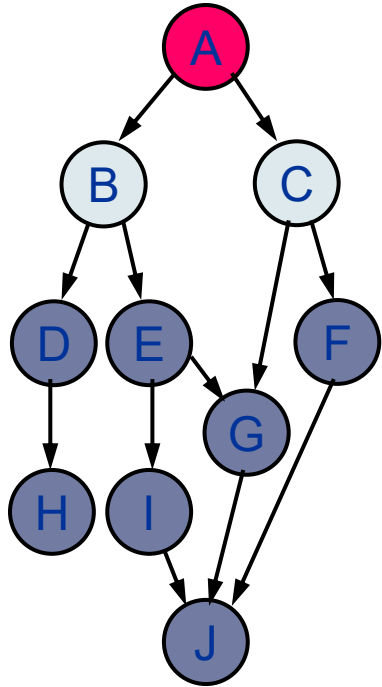
```
graph_simple = {  
    'A' : ['B', 'C'],  
    'B' : ['D', 'E'],  
    'C' : ['F', 'G'],  
    'D' : ['H'],  
    'E' : ['G', 'I'],  
    'F' : ['J'],  
    'G' : ['J'],  
    'H' : [],  
    'I' : ['J'],  
    'J' : []  
}
```

▶ Primer poziva funkcije za pretagu po dubini

```
path = depth_first_search(graph, start, end)
```

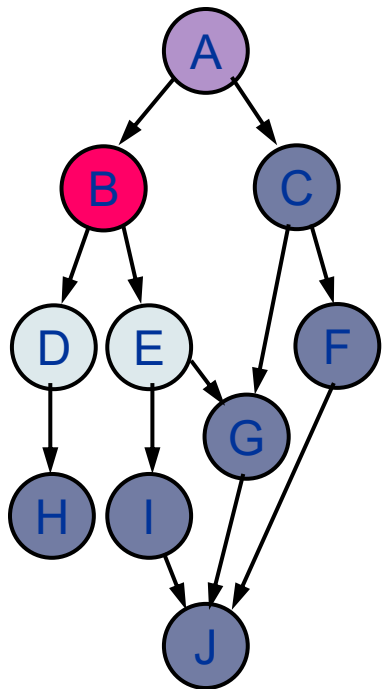


Traženje po dubini (ilustracija)



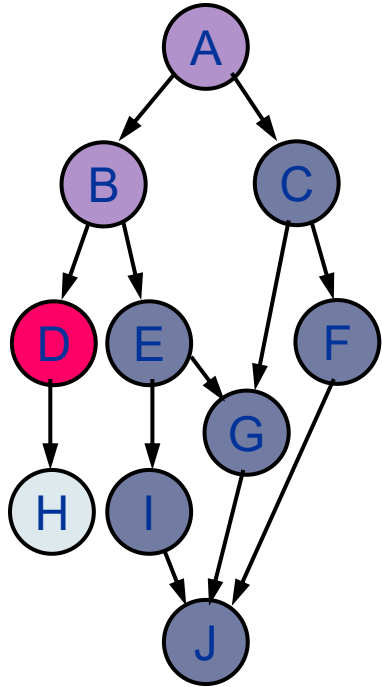
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |

Traženje po dubini (ilustracija)



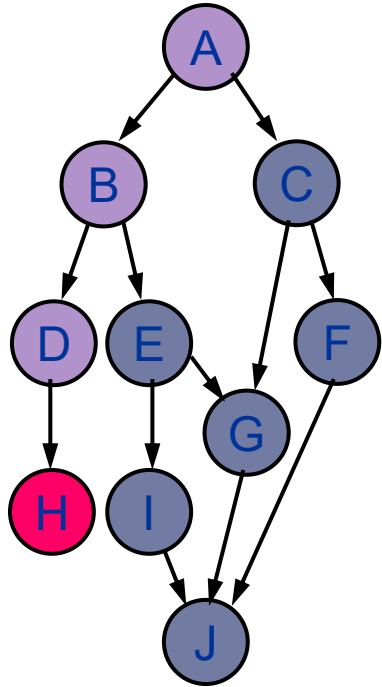
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D E | A B | (D B) (E B) |

Traženje po dubini (ilustracija)



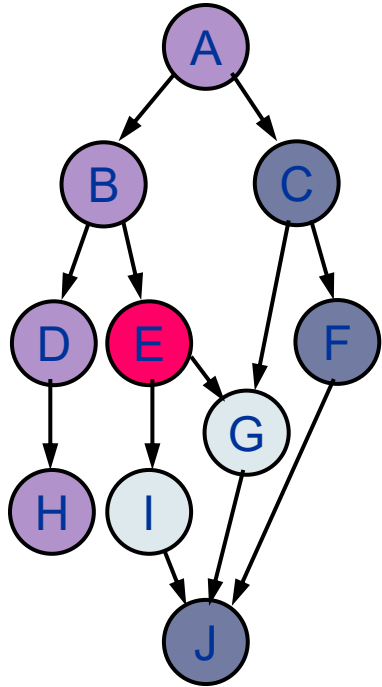
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H | A B D | (H D) |

Traženje po dubini (ilustracija)



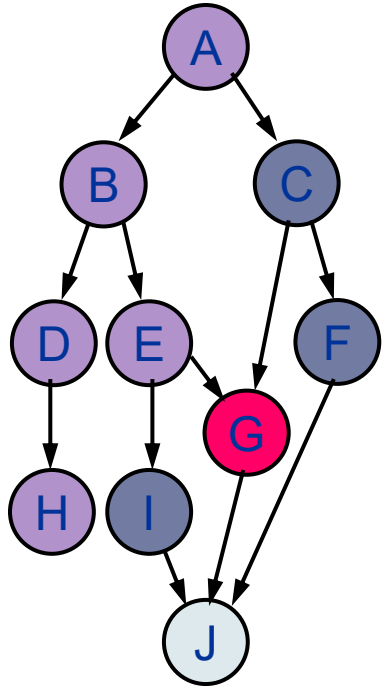
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H | A B D | (H D) |
| 4 | E C | - | A B D H | - |

Traženje po dubini (ilustracija)



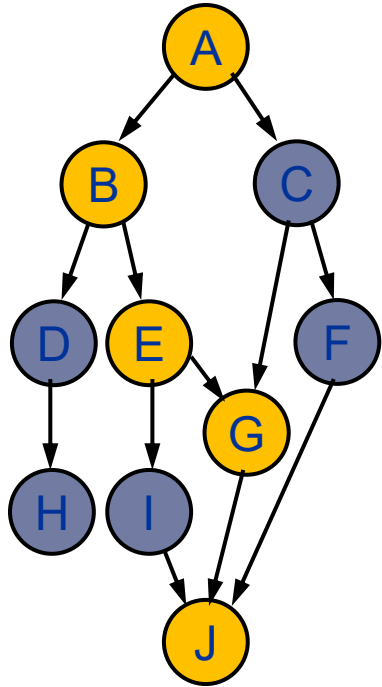
| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|--------------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H | A B D | (H D) |
| 4 | E C | - | A B D H | - |
| 5 | G I C | G I | A B D H E | (G E) (I E) |

Traženje po dubini (ilustracija)



| d. r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|-------|-----------|---------|----------------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B C | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D E | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H | A B D | (H D) |
| 4 | E C | - | A B D H | - |
| 5 | G I C | G I | A B D H E | (G E) (I E) |
| 6 | J I C | J | A B D H E G | (J G) |

Traženje po dubini (ilustracija)



- ▶ Prethodnici

- ▶ (A -) (BA) (CA) (D B) (E B) (H D)
(G E) (I E) (J G)

- ▶ Put

(A B E G J)

Informisani (heuristički) algoritmi

- ▶ Metod planinarenja (Hill-Climbing)
- ▶ Prvo najbolji (Best-First)
- ▶ Algoritmi predstavljaju proširenje traženja po dubini korišćenjem informacije o rastojanju svakog čvora do cilja.
- ▶ Heuristika je procenjena cena puta od konkretnog čvora do cilja:
 - ▶ $h(G) = 0$
 - ▶ $h(c) > 0, c \neq G$
- ▶ Cilj heuristike je da se za obradu biraju čvorovi koji više obećavaju da će se stići do cilja (manja im je procenjena cena puta do cilja).



Metod planinarenja

- ▶ Formirati **stek** koji inicijalno sadrži samo polazni čvor.
- ▶ Dok se **stek** ne isprazni ili se ne dođe do ciljnog čvora, proveriti da li je prvi element ciljni čvor
 - ▶ Ako je prvi element ciljni čvor, put je pronađen.
 - ▶ Ako prvi element nije ciljni čvor,
 - ▶ Ukloniti ga iz **steka**
 - ▶ **Urediti njegove sledbenike** (ako ih ima i ako nisu već posećeni) po rastućim vrednostima heurističke funkcije (rastojanje od ciljnog čvora)
 - ▶ Uređene sledbenike dodati na **stek** tako da prvi element bude sledbenik sa najmanjom vrednošću heurističke funkcije.
- ▶ Ako je pronađen ciljni čvor, pretraga je uspešno završena, u suprotnom pretraga je neuspešna.



Prvo najbolji

- ▶ Formirati **stek** koji inicijalno sadrži samo polazni čvor.
- ▶ Dok se **stek** ne isprazni ili se ne dođe do ciljnog čvora, proveriti da li je prvi element ciljni čvor
 - ▶ Ako je prvi element ciljni čvor, put je pronađen.
 - ▶ Ako prvi element nije ciljni čvor,
 - ▶ Ukloniti ga sa **steka**
 - ▶ Sledbenike dodati u **stek**
 - ▶ **Celokupni stek sortirati** po rastućim vrednostima heurističkih funkcija čvorova (rastojanje od ciljnog čvora)
- ▶ Ako je pronađen ciljni čvor, pretraga je uspešno završena, u suprotnom pretraga je neuspešna.



Traženje planinarenjem

- ▶ Funkcija `hill_climbing_search` izdvaja listu čvorova koji čine put od polaznog do ciljnog čvora.
 - ▶ `hill_climbing_search(graph, start, end)`
- ▶ Ulazni parametri:
 - ▶ Graf
 - ▶ Polazni čvor
 - ▶ Ciljni čvor



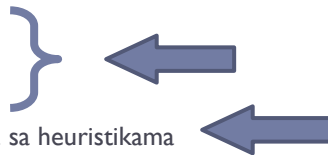
Traženje planinarenjem

- ▶ Pomoćne strukture i promenljive koje koristi funkcija `hill_climbing_search`:
 - ▶ Stek čvorova (oznaka) koje treba posetiti
 - ▶ `stack_nodes`
 - ▶ Niz posećenih čvorova (oznaka)
 - ▶ `visited`
 - ▶ Niz parova čvorova (oznaka) oblika (čvor prethodnik)
 - ▶ `prev_nodes`
 - ▶ Niz čvorova (oznaka) na putu od polaznog do ciljnog čvora
 - ▶ `path`
 - ▶ Logička promenljiva koja ukazuje da je pronađen ciljni čvor
 - ▶ `found_dest`
 - ▶ Niz parova čvorova (oznaka) oblika (čvor heuristika)
 - ▶ `destinations`



Traženje planinarenjem – Algoritam

- ▶ Dodati polazni čvor na stek
- ▶ Dodati polazni čvor u posećene
- ▶ Dodati da polazni čvor nema prethodnika
- ▶ Sve dok ciljni čvor nije pronađen i stek nije prazan
 - ▶ Pročitati čvor iz steka
 - ▶ Obraditi čvor
 - ▶ Za svaki odredišni čvor do koji postoji poteg od čvora
 - ▶ Dodati par (odredište heuristika) u listu odredišta sa heuristikama
 - ▶ Urediti listu odredišta sa heuristikama u opadajući redosled
 - ▶ Za sve parove odredište heuristika iz uređene liste odredišta sa heuristikama
 - ▶ Ako je odredište nije posećeno
 - Postaviti prethodnika za odredište na čvor
 - Ako je odredište jednako ciljnom čvoru postavi vrednost na pronađen i izaći iz petlje
 - Dodati odredište u posećene
 - Dodati odredište u stek
- ▶ Ako je ciljni čvor pronađen:
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika ciljnog čvora
 - ▶ Sve dok prethodnik postoji
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika trenutnog čvora



Funkcija hill_climbing_search (I)

- Početak funkcije `hill_climbing_search` priprema pomoćne parametre i strukture za pretragu grafa

```
def hill_climbing_search(graph, start, end):  
    if start is end:  
        path = list()  
        path.append(start)  
        return path  
  
    stack_nodes = queue.LifoQueue(len(graph))  
    visited = set()  
    prev_nodes = dict()  
    prev_nodes[start] = None  
    visited.add(start)  
    stack_nodes.put(start)  
    found_dest = False
```



Funkcija hill_climbing_search (II)

- ▶ Glavna petlja funkcije `hill_climbing_search` koja obrađuje čvorove korišćenjem reda
- ▶ `while (not found_dest) and (not stack_nodes.empty()):`
- ▶ `node = stack_nodes.get()`
- ▶ `process(node)`
- ▶ `destinations = list()`
- ▶ `for dest in graph[node][1]:`
- ▶ `element = [dest, graph[dest][0]]`
- ▶ `destinations.append(element)`
- ▶ `for dest_heur in sorted(destinations, key=lambda item: item[1], reverse=True):`
- ▶ `if dest_heur[0] not in visited:`
- ▶ `prev_nodes[dest_heur[0]] = node`
- ▶ `if dest_heur[0] is end:`
- ▶ `found_dest = True`
- ▶ `break`
- ▶ `visited.add(dest_heur[0])`
- ▶ `stack_nodes.put(dest_heur[0])`



Funkcija hill_climbing_search (III)

- ▶ Kraj funkcije `hill_climbing_search` formira put od početnog do ciljnog čvora

```
path = list()
if found_dest:
    path.append(end)
    prev = prev_nodes[end]
    while prev is not None:
        path.append(prev)
        prev = prev_nodes[prev]
    path.reverse()
return path
```



Traženje planinarenjem – Primer grafa i poziva

- ▶ Primer grafa

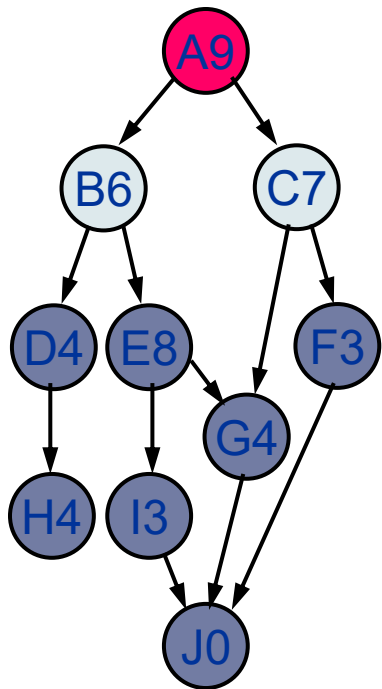
```
graph_simple = {  
    'A' : (9, ['B', 'C']),  
    'B' : (6, ['D', 'E']),  
    'C' : (7, ['F', 'G']),  
    'D' : (4, ['H']),  
    'E' : (8, ['G', 'I']),  
    'F' : (3, ['J']),  
    'G' : (4, ['J']),  
    'H' : (4, []),  
    'I' : (3, ['J']),  
    'J' : (0, [])  
}
```

- ▶ Primer poziva funkcije za pretragu planinarenjem

```
path = hill_climbing_search(graph, start, end)
```

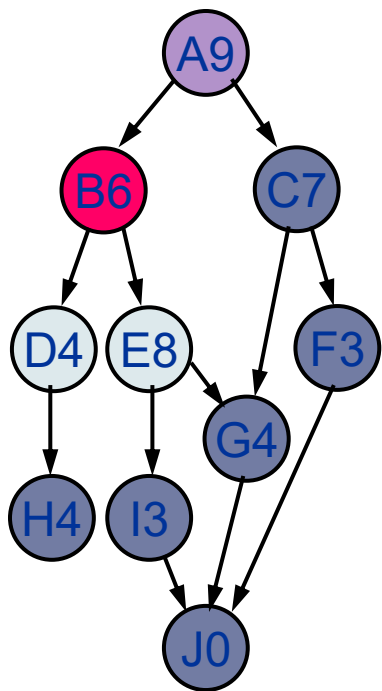


Algoritam planinarenja (ilustracija)



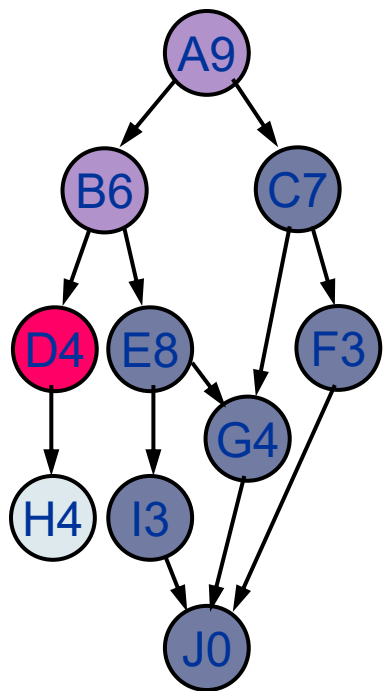
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B6 C7 | A | (B A) (C A) |

Algoritam planinarenja (ilustracija)



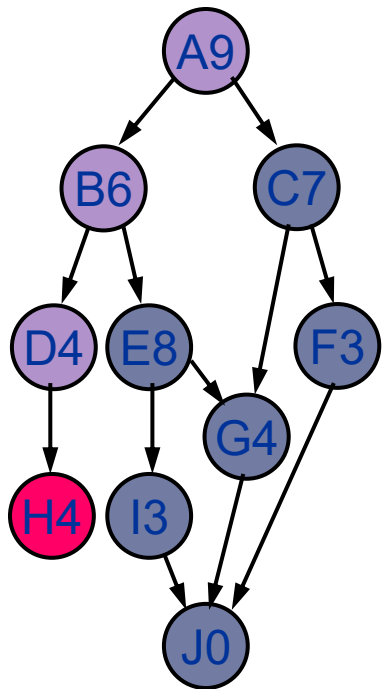
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B6 C7 | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D4 E8 | A B | (D B) (E B) |

Algoritam planinarenja (ilustracija)



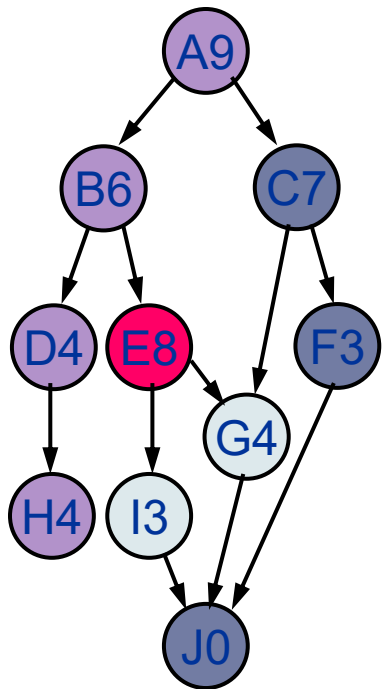
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B6 C7 | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D4 E8 | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H4 | A B D | (H D) |

Algoritam planinarenja (ilustracija)



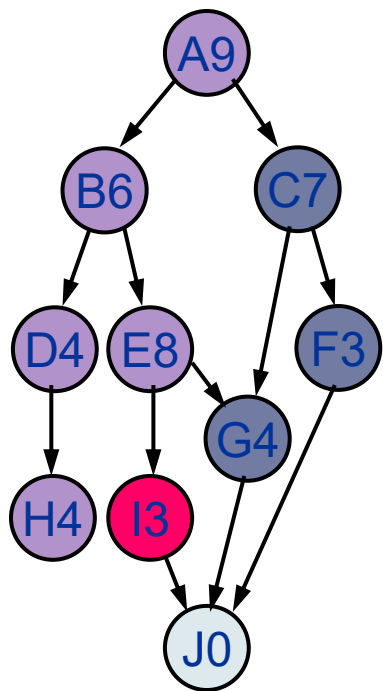
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B6 C7 | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D4 E8 | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H4 | A B D | (H D) |
| 4 | E C | - | A B D H | - |

Algoritam planinarenja (ilustracija)



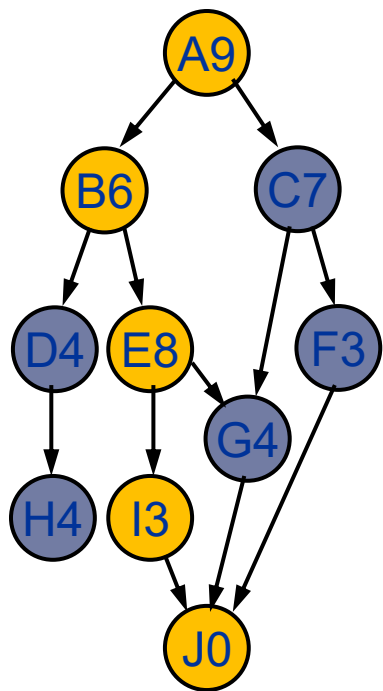
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|--------------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B6 C7 | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D4 E8 | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H4 | A B D | (H D) |
| 4 | E C | - | A B D H | - |
| 5 | I G C | I3 G4 | A B D H E | (G E) (I E) |

Algoritam planinarenja (ilustracija)



| d.r. | za obradu | Potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------------|-------------|
| 0 | A | - | - | (A -) |
| 1 | B C | B6 C7 | A | (B A) (C A) |
| 2 | D E C | D4 E8 | A B | (D B) (E B) |
| 3 | H E C | H4 | A B D | (H D) |
| 4 | E C | - | A B D H | - |
| 5 | I G C | I3 G4 | A B D H E | (G E) (I E) |
| 6 | J G E C | J0 | A B D H E I | (J I) |

Algoritam planinarenja (ilustracija)



► Prethodnici

► (A -) (B A) (C A) (D B) (E B) (H D)
(G E) (I E) (J I)

► Put

(A B E I J)

Prvo najbolji

- ▶ Formirati **stek** koji inicijalno sadrži samo polazni čvor.
- ▶ Dok se **stek** ne isprazni ili se ne dođe do ciljnog čvora, proveriti da li je prvi element ciljni čvor
 - ▶ Ako je prvi element ciljni čvor, put je pronađen.
 - ▶ Ako prvi element nije ciljni čvor,
 - ▶ Ukloniti ga sa **steka**
 - ▶ Sledbenike dodati u **stek**
 - ▶ **Celokupni stek sortirati** po rastućim vrednostima heurističkih funkcija čvorova (rastojanje od ciljnog čvora)
- ▶ Ako je pronađen ciljni čvor, pretraga je uspešno završena, u suprotnom pretraga je neuspešna.



Traženje prvo-najbolji

- ▶ Funkcija `best_first_search` izdvaja listu čvorova koji čine put od polaznog do ciljnog čvora.
 - ▶ `best_first_search(graph, start, end)`
- ▶ Ulazni parametri:
 - ▶ Graf
 - ▶ Polazni čvor
 - ▶ Ciljni čvor







Traženje prvo-najbolji

- ▶ Pomoćne strukture i promenljive koje koristi funkcija `best_first_search`:
 - ▶ Red sa prioritetom čvorova (oznaka) sa heuristikama koje treba posetiti
 - ▶ `priority_queue`
 - ▶ Niz posećenih čvorova (oznaka)
 - ▶ `visited`
 - ▶ Niz parova čvorova (oznaka) oblika (čvor prethodnik)
 - ▶ `prev_nodes`
 - ▶ Niz čvorova (oznaka) na putu od polaznog do ciljnog čvora
 - ▶ `path`
 - ▶ Logička promenljiva koja ukazuje da je pronađen ciljni čvor
 - ▶ `found_dest`



Traženje prvo-najbolji – Algoritam

- ▶ Dodati polazni čvor sa heuristikom u red sa prioritetom 
- ▶ Dodati polazni čvor u posećene
- ▶ Dodati da polazni čvor nema prethodnika
- ▶ Sve dok ciljni čvor nije pronađen i red sa prioritetom nije prazan 
 - ▶ Pročitati čvor sa heuristikom iz reda sa prioritetom 
 - ▶ Obraditi čvor
 - ▶ Za svaki odredišni čvor do kog postoji poteg od čvora
 - ▶ Ako je odredište nije posećeno
 - ☐ Postaviti prethodnika za odredište na čvor
 - ☐ Ako je odredište jednako ciljnom čvoru postavi vrednost na pronađen i izaći iz petlje
 - ☐ Dodati odredište u posećene
 - ☐ Dodati odredište sa heuristikom u red sa prioritetom 
- ▶ Ako je ciljni čvor pronađen:
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika ciljnog čvora
 - ▶ Sve dok prethodnik postoji
 - ▶ Dodati ciljni čvor u put
 - ▶ Postaviti trenutni čvor na prethodnika trenutnog čvora



Funkcija `best_first_search` (I)

- Početak funkcije `best_first_search` priprema pomoćne parametre i strukture za pretragu grafa

```
def best_first_search(graph, start, end):  
    if start is end:  
        path = list()  
        path.append(start)  
        return path  
  
    priority_queue = queue.PriorityQueue(len(graph))  
    visited = set()  
    prev_nodes = dict()  
    prev_nodes[start] = None  
    visited.add(start)  
    priority_queue.put([start, graph[start][0]])  
    found_dest = False
```



Funkcija best_first_search (II)

- ▶ Glavna petlja funkcije `best_first_search` koja obrađuje čvorove korišćenjem reda

```
while (not found_dest) and (not priority_queue.empty()):  
    node = priority_queue.get()  
    process(node[0])  
    for dest in graph[node[0]][1]:  
        if dest not in visited:  
            prev_nodes[dest] = node[0]  
            if dest is end:  
                found_dest = True  
                break  
    visited.add(dest)  
    priority_queue.put([dest, graph[dest][0]])
```



Funkcija best_first_search (III)

- Kraj funkcije `best_first_search` formira put od početnog do ciljnog čvora

```
path = list()
if found_dest:
    path.append(end)
    prev = prev_nodes[end]
    while prev is not None:
        path.append(prev)
        prev = prev_nodes[prev]
    path.reverse()
return path
```



Traženje

prvo-najbolji – Primer grafa i poziva

- ▶ Primer grafa

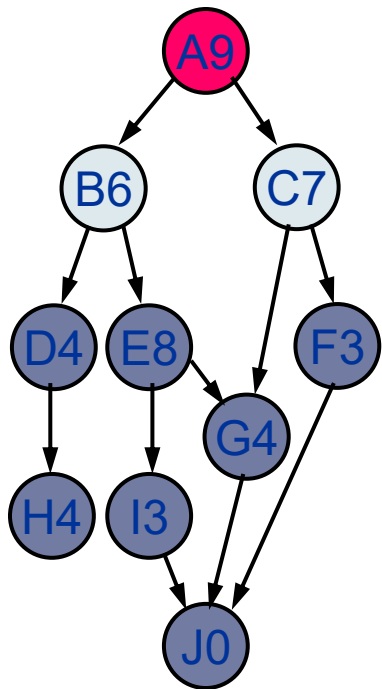
```
graph_simple = {  
    'A' : (9, ['B', 'C']),  
    'B' : (6, ['D', 'E']),  
    'C' : (7, ['F', 'G']),  
    'D' : (4, ['H']),  
    'E' : (8, ['G', 'I']),  
    'F' : (3, ['J']),  
    'G' : (4, ['J']),  
    'H' : (4, []),  
    'I' : (3, ['J']),  
    'J' : (0, [])  
}
```

- ▶ Primer poziva funkcije za pretragu prvo-najbolji

```
path = best_first_search(graph, start, end)
```

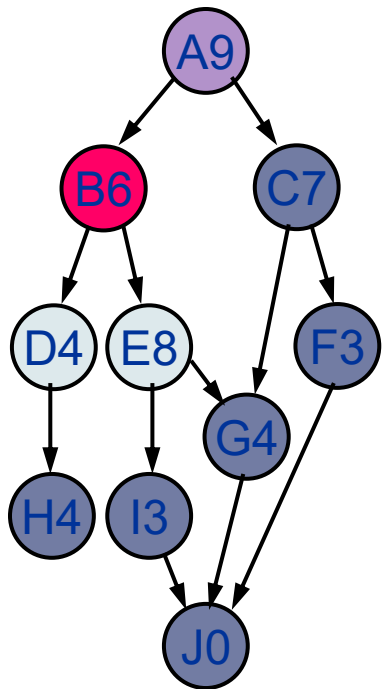


Algoritam prvo najbolji (ilustracija)



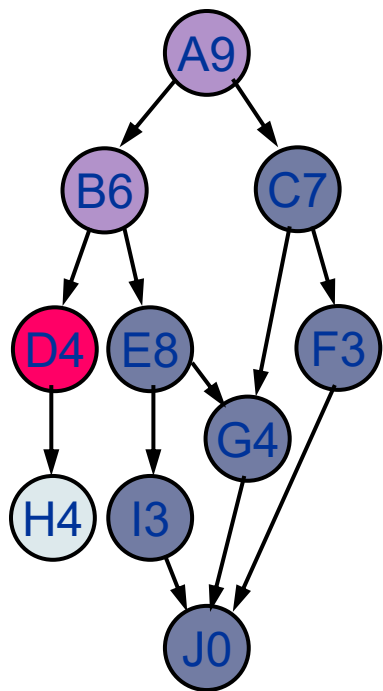
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A9 | - | - | (A -) |
| 1 | B6 C7 | B6 C7 | A9 | (B A) (C A) |

Algoritam prvo najbolji (ilustracija)



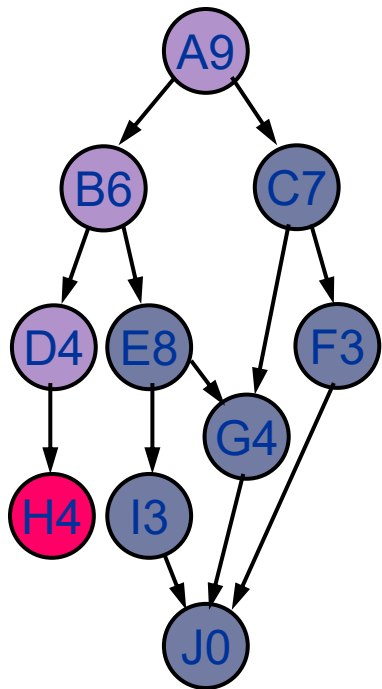
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------|-------------|
| 0 | A9 | - | - | (A -) |
| 1 | B6 C7 | B6 C7 | A9 | (B A) (C A) |
| 2 | D4 C7 E8 | D4 E8 | A9 B6 | (D B) (E B) |

Algoritam prvo najbolji (ilustracija)



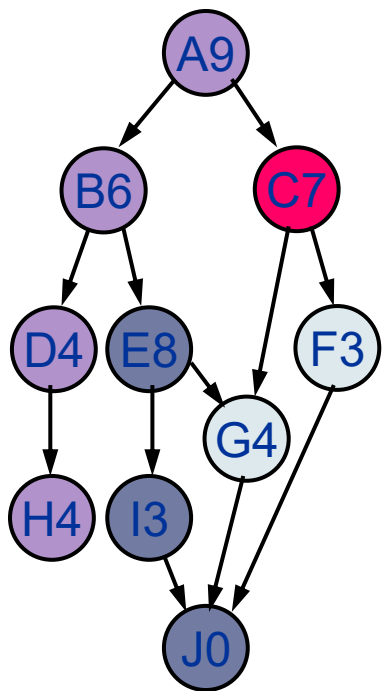
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|-------------|-------------|
| 0 | A9 | - | - | (A -) |
| 1 | B6 C7 | B6 C7 | A9 | (B A) (C A) |
| 2 | D4 C7 E8 | D4 E8 | A9 B6 | (D B) (E B) |
| 3 | H4 C7 E8 | H4 | A9 B6 D4 | (H D) |

Algoritam prvo najbolji (ilustracija)



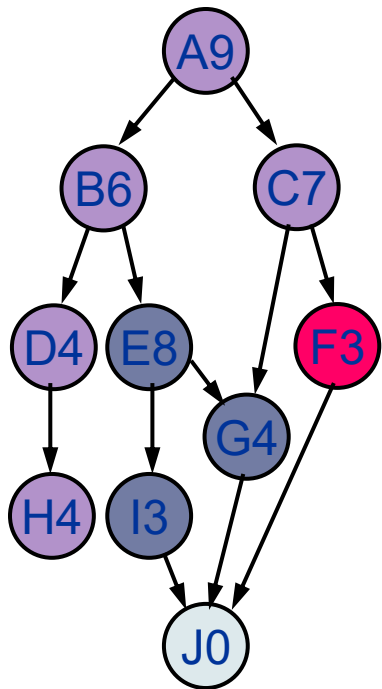
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------------|-------------|
| 0 | A9 | - | - | (A -) |
| 1 | B6 C7 | B6 C7 | A9 | (B A) (C A) |
| 2 | D4 C7 E8 | D4 E8 | A9 B6 | (D B) (E B) |
| 3 | H4 C7 E8 | H4 | A9 B6 D4 | (H D) |
| 4 | C7 E8 | - | A9 B6 D4 H4 | - |

Algoritam prvo najbolji (ilustracija)



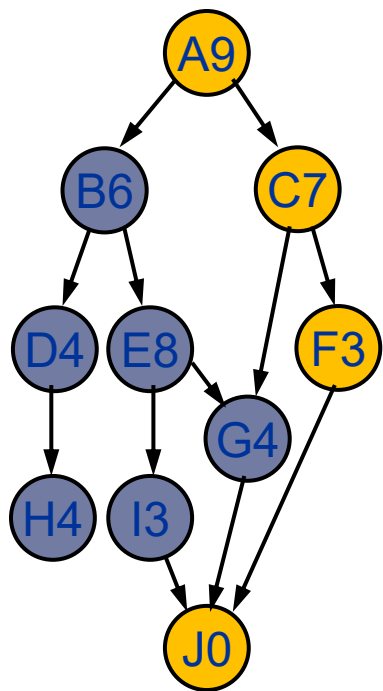
| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|----------------------|-------------|
| 0 | A9 | - | - | (A -) |
| 1 | B6 C7 | B6 C7 | A9 | (B A) (C A) |
| 2 | D4 C7 E8 | D4 E8 | A9 B6 | (D B) (E B) |
| 3 | H4 C7 E8 | H4 | A9 B6 D4 | (H D) |
| 4 | C7 E8 | - | A9 B6 D4 H4 | - |
| 5 | F3 G4 E8 | F3 G4 | A9 B6 D4 H4 C7 | (F C) (G C) |

Algoritam prvo najbolji (ilustracija)



| d.r. | za obradu | potomci | obrađeni | prethodnik |
|------|-----------|---------|-------------------------|-------------|
| 0 | A9 | - | - | (A -) |
| 1 | B6 C7 | B6 C7 | A9 | (B A) (C A) |
| 2 | D4 C7 E8 | D4 E8 | A9 B6 | (D B) (E B) |
| 3 | H4 C7 E8 | H4 | A9 B6 D4 | (H D) |
| 4 | C7 E8 | - | A9 B6 D4 H4 | - |
| 5 | F3 G4 E8 | F3 G4 | A9 B6 D4 H4 C7 | (F C) (G C) |
| 6 | J0 G4 E8 | J0 | A9 B6 D4 H4 C7 F3 | (J F) |

Algoritam prvo najbolji (ilustracija)



► Prethodnici

- (A -) (BA) (CA) (D B) (E B) (H D)
(F C) (G C) (J F)

► Put

(A C F J)

