

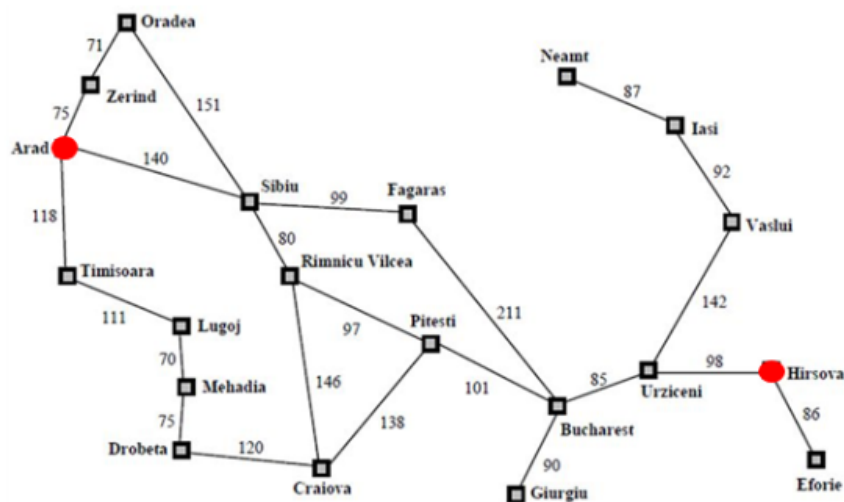
Bài tập thực hành Nhập môn trí tuệ nhân tạo Tuần 3

Họ và tên: Nguyễn Công Tiến Dũng

MSSV: 22280014

- I. Sau khi cài đặt và thực thi chương trình thì chương trình không báo lỗi.
- II. Chạy tay thuật toán GBFS và tiếp tục phần chạy tay chưa xong của thuật toán A*:

$h(\text{Arad}) = 366$	$h(\text{Hirsova}) = 0$	$h(\text{Rimnicu Vilcea}) = 193$
$h(\text{Bucharest}) = 20$	$h(\text{Iasi}) = 226$	$h(\text{Sibiu}) = 253$
$h(\text{Craiova}) = 160$	$h(\text{Lugoj}) = 244$	$h(\text{Timisoara}) = 329$
$h(\text{Drobeta}) = 242$	$h(\text{Mehadia}) = 241$	$h(\text{Urziceni}) = 10$
$h(\text{Eforie}) = 161$	$h(\text{Neamt}) = 234$	$h(\text{Vaslui}) = 199$
$h(\text{Fagaras}) = 176$	$h(\text{Oradea}) = 380$	$h(\text{Zerind}) = 374$
$h(\text{Giurgiu}) = 77$	$h(\text{Pitesti}) = 100$	



- Thuật toán A*:

Thuuaa

Ban đầu $OPEN = \{(Arad, g = 0, h = 0, f = 0)\}$

CLOSE = Rỗng

Do OPEN chỉ chứa có 1 thành phố nên thành phố này sẽ là thành phố tốt nhất. Nghĩa là ta chọn $Tmax = Arad$. Lấy Arad ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE.

$OPEN = CLOSE = (Arad, g=0, h=0, f=0)$

Từ Arad có thể đi được đến 3 thành phố Sibiu, Timisoara và Zerind. Ta lần lượt tính

f, g và h của 3 thành phố này. Do cả 3 nút mới tạo ra này chưa có nút cha nên ban đầu

nút cha của chúng đều là Arad.

$$* h(Timisoara) = 329$$

$$g(Timisoara) = g(Arad) + cost(Arad, Timisoara) = 0 + 118 = 118$$

$$f(Timisoara) = g(Timisoara) + h(Timisoara) = 118 + 329 = 447$$

$$Cha(Timisoara) = Arad$$

$$* h(Sibiu) = 253$$

$$g(Sibiu) = g(Arad) + cost(Arad, Sibiu) = 0 + 140 = 140$$

$$f(Sibiu) = g(Sibiu) + h(Sibiu) = 140 + 253 = 393$$

$$Cha(Sibiu) = Arad$$

$$* h(Zerind) = 374$$

$$g(Zerind) = g(Arad) + cost(Arad, Zerind) = 0 + 75 = 75$$

$$f(Zerind) = g(Zerind) + h(Zerind) = 75 + 374 = 449$$

$$Cha(Zerind) = Arad$$

Do 3 thành phố Sibiu, Timisoara và Zerind không có trong CLOSE và OPEN nên ta thêm cả 3 OPEN

$$OPEN = \{(Zerind, g=75, h=374, f=449, Cha=Arad),$$

$$(Timisoara, g=118, h=329, f=447, Cha=Arad),$$

$$(Sibiu, g=140, h=253, f=393, Cha=Arad)\}$$

$$CLOSE = \{(Arad, g=0, h=0, f=0)\}$$

Trong tập OPEN, Sibiu là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} = Sibiu$. Ta lấy Sibiu ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE

$$OPEN = \{(Zerind, g=75, h=374, f=449, Cha=Arad)$$

$$(Timisoara, g=118, h=329, f=447, Cha=Arad)\}$$

$$CLOSE = \{(Arad, g=0, h=0, f=0),$$

(Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)}

Từ Sibiu có thể đi được đến Arad, Fagaras, Oradea, R. Vilcea. Ta lần lượt tính h, g và f của các nút này.

$$* h(Arad) = 366$$

$$g(Arad) = g(Sibiu) + cost(Sibiu, Arad) = 140 + 140 = 280$$

$$f(Arad) = g(Arad) + h(Arad) = 280 + 366 = 646$$

$$* h(Fagaras) = 176$$

$$g(Fagaras) = g(Sibiu) + cost(Sibiu, Fagaras) = 140 + 99 = 239$$

$$f(Fagaras) = g(Fagaras) + h(Fagaras) = 239 + 176 = 415$$

$$* h(Oradea) = 380$$

$$g(Oradea) = g(Sibiu) + cost(Sibiu, Oradea) = 140 + 151 = 291$$

$$f(Oradea) = g(Oradea) + h(Oradea) = 291 + 380 = 671$$

$$* h(R. Vilcea) = 193$$

$$g(R. Vilcea) = g(Sibiu) + cost(Sibiu, R. Vilcea) = 140 + 80 = 220$$

$$f(R. Vilcea) = g(R. Vilcea) + h(R. Vilcea) = 220 + 193 = 413$$

Nút Arad đã có trong CLOSE và g(Arad) mới được tạo ra có giá trị là 280 lớn hơn g(Arad) lưu trong CLOSE có giá trị là 0 nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của Arad lưu trong CLOSE. 3 nút Fagaras, Oradea và R. Vilcea đều không có trong OPEN và CLOSE nên ta sẽ thêm 3 nút này vào OPEN, đặt cha của chúng là Sibiu

OPEN={

(Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)

(Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)

(Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)

(Oradea,g=291,h=380,f=671,Cha=Sibiu)

(R. Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)}

Trong tập OPEN, R.Vilcea là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} = R.Vilcea$. Ta lấy R.Vilceara khỏi OPEN và đưa vào CLOSE

OPEN={ (Zerind, g=75, h=374, f=449, Cha=Arad)

(Timisoara, g=118, h=329, f=447, Cha=Arad)

(Fagaras, g=239, h=176, f=415, Cha=Sibiu)

(Oradea, g=291, h=380, f=671, Cha=Sibiu)}

CLOSE={ (Arad, g=0, h=0, f=0)

(Sibiu, g=140, h=253, f=393, Cha= Arad)

(R.Vilcea, g=220, h=193, f=413, Cha=Sibiu)}

Từ R.Vilcea có thể đi được đến Sibiu, Pitesti, Craiova. Ta lần lượt tính h, g và f của các nút này.

$$* h(\text{Sibiu}) = 253$$

$$g(\text{Sibiu}) = g(\text{R. Vilcea}) + \text{cost}(\text{R. Vilcea}, \text{Sibiu}) = 220 + 80 = 300$$

$$f(\text{Sibiu}) = g(\text{Sibiu}) + h(\text{Sibiu}) = 300 + 253 = 553$$

$$* h(\text{Pitesti}) = 100$$

$$g(\text{Pitesti}) = g(\text{R. Vilcea}) + \text{cost}(\text{R. Vilcea}, \text{Pitesti}) = 220 + 97 = 317$$

$$f(\text{Pitesti}) = g(\text{Pitesti}) + h(\text{Pitesti}) = 317 + 100 = 417$$

$$* h(\text{Craiova}) = 160$$

$$g(\text{Craiova}) = g(\text{R. Vilcea}) + \text{cost}(\text{R. Vilcea}, \text{Craiova}) = 220 + 146 = 366$$

$$f(\text{Craiova}) = g(\text{Craiova}) + h(\text{Craiova}) = 160 + 366 = 526$$

Nút Sibiu đã có trong CLOSE và g(Sibiu) mới được tạo ra có giá trị là 300 lớn hơn g(Arad) lưu trong CLOSE có giá trị là 140 nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của Siubiu lưu trong CLOSE. 2 nút Craiova và Pitesti đều không có trong OPEN và CLOSE nên ta sẽ thêm 2 nút này vào OPEN, đặt cha của chúng là R. Vilcea

OPEN={ (Zerind, g=75, h=374, f=449, Cha=Arad)

(Timisoara, g=118, h=329, f=447, Cha=Arad)

(Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)
 (Oradea,g=291,h=380,f=671,Cha=Sibiu)
 (Craiovo,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea)
 (Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)}
 CLOSE={ (Arad,g=0,h=0,f=0)
 (Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)
 (R.Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)}

Trong tập OPEN, Fagaras là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} =$ Fagaras. Ta lấy Fagaras ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE

Từ Fagaras có thể đi được đến Sibiu, Bucharest. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này.

$$* h(\text{Sibiu}) = 253$$

$$g(\text{Sibiu}) = g(\text{Fagaras}) + \text{cost}(\text{Fagaras}, \text{Sibiu}) = 239 + 99 = 329$$

$$f(\text{Sibiu}) = g(\text{Sibiu}) + h(\text{Sibiu}) = 329 + 253 = 582$$

$$* h(\text{Bucharest}) = 20$$

$$g(\text{Bucharest}) = g(\text{Fagaras}) + \text{cost}(\text{Fagaras}, \text{Bucharest}) = 239 + 211 = 450$$

$$f(\text{Bucharest}) = g(\text{Bucharest}) + h(\text{Bucharest}) = 450 + 20 = 470$$

Nút Sibiu đã có trong CLOSE và $g(\text{Sibiu})$ mới được tạo ra có giá trị là 329 lớn hơn $g(\text{Arad})$ lưu trong CLOSE có giá trị là 140 nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của Sibiu lưu trong CLOSE. 1 nút Bucharest đều không có trong OPEN và CLOSE nên ta sẽ thêm 1 nút này vào OPEN, đặt cha của chúng là Fagaras

OPEN={ (Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)
 (Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)
 (Oradea,g=291,h=380,f=671,Cha=Sibiu)
 (Craiovo,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea)
 (Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)
 (Bucharest,g=450,h=20,f=470,Cha=Fagaras)}
 CLOSE={ (Arad,g=0,h=0,f=0)
 (Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)

(R.Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)

(Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)}

Trong tập OPEN, Pitesti là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} = \text{Pitesti}$. Ta lấy Pitesti ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Pitesti có thể đi được đến R.Vilcea, Bucharest, Craiovo. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này.

$$* h(\text{R.Vilcea}) = 193$$

$$g(\text{R.Vilcea}) = g(\text{Pitesti}) + \text{cost}(\text{Pitesti}, \text{R.Vilcea}) = 317 + 97 = 414$$

$$f(\text{R.Vilcea}) = g(\text{R.Vilcea}) + h(\text{R.Vilcea}) = 414 + 193 = 607$$

$$* h(\text{Bucharest}) = 20$$

$$g(\text{Bucharest}) = g(\text{Pitesti}) + \text{cost}(\text{Pitesti}, \text{Bucharest}) = 317 + 101 = 418$$

$$f(\text{Bucharest}) = g(\text{Bucharest}) + h(\text{Bucharest}) = 418 + 20 = 438$$

$$* h(\text{Craiovo}) = 160$$

$$g(\text{Craiovo}) = g(\text{Pitesti}) + \text{cost}(\text{Pitesti}, \text{Craiovo}) = 317 + 138 = 455$$

$$f(\text{Craiovo}) = g(\text{Craiovo}) + h(\text{Craiovo}) = 455 + 160 = 615$$

Do R. Vilcea đã có trong CLOSE và $g(\text{R.Vilcea})$ mới được tạo ra có giá trị là 414 lớn hơn $g(\text{R.Vilcea})$ lưu trong CLOSE có giá trị là 220 nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của $g(\text{R.Vilcea})$ lưu trong CLOSE. Craiova đã có trong OPEN và $g(\text{Craiova})$ mới được tạo ra có giá trị là 455 lớn hơn $g(\text{Craiova})$ trong OPEN có giá trị là 366 nên ta cũng không cập nhật giá trị g và f của Craiova. Bucharest đã có trong OPEN và $g(\text{Bucharest})$ mới tạo có giá trị là 418 nhỏ hơn $g(\text{Bucharest})$ trong OPEN có giá trị là 450 nên ta sẽ cập nhật giá trị g và f của Bucharest.

OPEN={ (Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)

(Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)

(Oradea,g=291,h=380,f=671,Cha=Sibiu)

(Craiovo,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea)

(Bucharest,g=418,h=20,f=438,Cha=Pitesti)}

CLOSE={ (Arad,g=0,h=0,f=0)

(Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)

(R.Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)

(Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)

(Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)}

Trong tập OPEN, Bucharest là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} =$ Bucharest. Ta lấy Bucharest ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Bucharest có thể đi được đến Fagaras, Pitesti, Urziceni, Giurgiu. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này.

$$* h(\text{Fagaras}) = 176$$

$$g(\text{Fagaras}) = g(\text{Bucharest}) + \text{cost}(\text{Bucharest}, \text{Fagaras}) = 418 + 211 = 629$$

$$f(\text{Fagaras}) = g(\text{Fagaras}) + h(\text{Fagaras}) = 176 + 629 = 805$$

$$* h(\text{Pitesti}) = 100$$

$$g(\text{Pitesti}) = g(\text{Bucharest}) + \text{cost}(\text{Bucharest}, \text{Pitesti}) = 418 + 101 = 519$$

$$f(\text{Pitesti}) = g(\text{Pitesti}) + h(\text{Pitesti}) = 519 + 100 = 619$$

$$* h(\text{Urziceni}) = 10$$

$$g(\text{Urziceni}) = g(\text{Bucharest}) + \text{cost}(\text{Bucharest}, \text{Urziceni}) = 418 + 85 = 503$$

$$f(\text{Urziceni}) = g(\text{Urziceni}) + h(\text{Urziceni}) = 503 + 10 = 513$$

$$* h(\text{Giurgiu}) = 77$$

$$g(\text{Giurgiu}) = g(\text{Bucharest}) + \text{cost}(\text{Bucharest}, \text{Giurgiu}) = 418 + 90 = 508$$

$$f(\text{Giurgiu}) = g(\text{Giurgiu}) + h(\text{Giurgiu}) = 508 + 77 = 585$$

Pitesti và Fagaras đã có trong tập CLOSE và $g(\text{Pitesti})$, $g(\text{Fagaras})$ mới được tạo ra có giá trị lớn hơn $g(\text{Pitesti})$, $g(\text{Fagaras})$ trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng. Giurgiu và Urziceni không có trong tập OPEN lẫn CLOSE nên ta sẽ thêm 2 nút này vào tập OPEN.

OPEN={ (Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)

(Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)

(Oradea,g=291,h=380,f=671,Cha=Sibiu)

(Craiovo,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea)
 (Giurgiu, g = 508, h =77, f = 585, Cha = Bucharest)
 (Urziceni, g = 503, h = 10, f = 513, Cha = Bucharest)}
 CLOSE={ (Arad,g=0,h=0,f=0)
 (Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)
 (R.Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)
 (Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)
 (Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)
 (Bucharest,g=418,h=20,f=438,Cha= Pitesti)}

Trong tập OPEN, Timisoara là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} =$ Timisoara. Ta lấy Timisoara ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Timisoara có thể đi được đến Lugoj, Arad. Ta lần lượt tính h, g và f của các nút này.

$$* h(\text{Arad}) = 366$$

$$g(\text{Arad}) = g(\text{Timisoara}) + \text{cost}(\text{Timisoara}, \text{Arad}) = 118 + 118 = 236$$

$$f(\text{Arad}) = g(\text{Arad}) + h(\text{Arad}) = 236 + 366 = 602$$

$$* h(\text{Lugoj}) = 244$$

$$g(\text{Lugoj}) = g(\text{Timisoara}) + \text{cost}(\text{Timisoara}, \text{Lugoj}) = 118 + 111 = 229$$

$$f(\text{Lugoj}) = g(\text{Lugoj}) + h(\text{Lugoj}) = 229 + 244 = 473$$

Arad đã có trong tập CLOSE và g(Arad) mới được tạo ra có giá trị lớn hơn g(Arad) trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng. Lugoj không có trong tập OPEN lẫn CLOSE nên ta sẽ thêm 1 nút này vào tập OPEN

OPEN={ (Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)
 (Oradea,g=291,h=380,f=671,Cha=Sibiu)
 (Craiovo,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea)
 (Giurgiu, g = 508, h =77, f = 585, Cha = Bucharest)
 (Urziceni, g = 503, h = 10, f = 513, Cha = Bucharest)
 (Lugoj,g=229,h=244,f=473,Cha=Timisoara)}
 CLOSE={ (Arad,g=0,h=0,f=0)

(Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)
 (R.Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)
 (Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)
 (Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)
 (Bucharest,g=418,h=20,f=438,Cha= Pitesti)
 (Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)}

Trong tập OPEN, Zerind là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} = \text{Zerind}$.
 Ta lấy Zerind ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Zerind có thể đi được đến Oradea, Arad. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này.

$$* h(\text{Oradea}) = 380$$

$$g(\text{Oradea}) = g(\text{Zerind}) + \text{cost}(\text{Zerind}, \text{Oradea}) = 75 + 71 = 146$$

$$f(\text{Oradea}) = g(\text{Oradea}) + h(\text{Oradea}) = 146 + 380 = 526$$

$$* h(\text{Arad}) = 366$$

$$g(\text{Arad}) = g(\text{Zerind}) + \text{cost}(\text{Zerind}, \text{Arad}) = 75 + 75 = 150$$

$$f(\text{Arad}) = g(\text{Arad}) + h(\text{Arad}) = 150 + 366 = 516$$

Arad đã có trong tập CLOSE và $g(\text{Arad})$ mới được tạo ra có giá trị lớn hơn $g(\text{Arad})$ trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng.
 Oradea có trong tập OPEN mà giá trị g và f đều nhỏ hơn trong tập nên được cập nhật

$$\text{OPEN} = \{(\text{Oradea}, g=146, h=380, f=526, \text{Cha}=\text{Zerind})$$

$$(\text{Craiova}, g=366, h=160, f=526, \text{Cha}= \text{R.Vilcea})$$

$$(\text{Giurgiu}, g = 508, h = 77, f = 585, \text{Cha} = \text{Bucharest})$$

$$(\text{Urziceni}, g = 503, h = 10, f = 513, \text{Cha} = \text{Bucharest})$$

$$(\text{Lugoj}, g=229, h=244, f=473, \text{Cha}=\text{Timisoara})\}$$

$$\text{CLOSE} = \{(\text{Arad}, g=0, h=0, f=0)$$

$$(\text{Sibiu}, g=140, h=253, f=393, \text{Cha}= \text{Arad})$$

$$(\text{R.Vilcea}, g=220, h=193, f=413, \text{Cha}=\text{Sibiu})$$

$$(\text{Fagaras}, g=239, h=176, f=415, \text{Cha}=\text{Sibiu})$$

(Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)

(Bucharest,g=418,h=20,f=438,Cha= Pitesti)

(Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)

(Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)}

Trong tập OPEN, Lugoj là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} = \text{Lugoj}$. Ta lấy Lugoj ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Lugoj có thể đi được đến Timisoara, Mehadia. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này.

$$* h(\text{Timisoara}) = 329$$

$$g(\text{Timisoara}) = g(\text{Lugoj}) + \text{cost}(\text{Lugoj}, \text{Timisoara}) = 229 + 111 = 340$$

$$f(\text{Timisoara}) = g(\text{Timisoara}) + h(\text{Timisoara}) = 340 + 329 = 669$$

$$* h(\text{Mehadia}) = 241$$

$$g(\text{Mehadia}) = g(\text{Lugoj}) + \text{cost}(\text{Lugoj}, \text{Mehadia}) = 229 + 70 = 299$$

$$f(\text{Mehadia}) = g(\text{Mehadia}) + h(\text{Mehadia}) = 299 + 241 = 540$$

Timisoara đã có trong tập CLOSE và $g(\text{Timisoara})$ mới được tạo ra có giá trị lớn hơn $g(\text{Timisoara})$ trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng. Mehadia không có trong tập OPEN lẫn CLOSE nên ta sẽ thêm 1 nút này vào tập OPEN

OPEN={{(Oradea,g=146,h=380,f=526,Cha=Zerind)

(Craiova,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea)

(Giurgiu, $g = 508$, $h = 77$, $f = 585$, Cha = Bucharest)

(Urziceni, $g = 503$, $h = 10$, $f = 513$, Cha = Bucharest)

(Mehadia, $g=299$, $h=241$, $f=540$,Cha=Lugoj)}

CLOSE={{(Arad,g=0,h=0,f=0)

(Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)

(R.Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)

(Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)

(Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)

(Bucharest,g=418,h=20,f=438,Cha= Pitesti)

(Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)

(Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)

(Lugoj,g=229,h=244,f=473,Cha=Timisoara)}

Trong tập OPEN, Urziceni là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{max} =$ Urziceni. Ta lấy Urziceni ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE

Từ Urziceni có thể đi được đến Vaslui, Hirsova. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này.

$$* h(\text{Bucharest}) = 20$$

$$g(\text{Bucharest}) = g(\text{Urziceni}) + \text{cost}(\text{Urziceni}, \text{Bucharest}) = 503 + 85 = 588$$

$$f(\text{Hirsova}) = g(\text{Hirsova}) + h(\text{Hirsova}) = 588 + 20 = 608$$

$$* h(\text{Vaslui}) = 199$$

$$g(\text{Vaslui}) = g(\text{Urziceni}) + \text{cost}(\text{Urziceni}, \text{Vaslui}) = 503 + 142 = 645$$

$$f(\text{Hirsova}) = g(\text{Hirsova}) + h(\text{Hirsova}) = 645 + 199 = 844$$

$$* h(\text{Hirsova}) = 0$$

$$g(\text{Hirsova}) = g(\text{Urziceni}) + \text{cost}(\text{Urziceni}, \text{Hirsova}) = 503 + 98 = 601$$

$$f(\text{Hirsova}) = g(\text{Hirsova}) + h(\text{Hirsova}) = 601 + 0 = 601$$

Do Bucharest đã ở trong tập CLOSE và Bucharest có g lớn hơn g trong CLOSE không cập nhật. Chỉ thêm Vaslui, Hirsova vào OPEN.

OPEN={ (Oradea,g=146,h=380,f=526,Cha=Zerind),

(Craiova,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea),

(Giurgiu, g = 508, h =77, f = 585, Cha = Bucharest),

(Mehadia,g=299,h=241,f=540,Cha=Lugoj),

(Vaslui, g = 645, h = 199, f = 884),

(Hirsova, g = 601, h = 0, f = 601)}

CLOSE={ (Arad,g=0,h=0,f=0)
 (Sibiu,g=140,h=253,f=393, Cha= Arad)
 (R.Vilcea,g=220,h=193,f=413,Cha=Sibiu)
 (Fagaras,g=239,h=176,f=415,Cha=Sibiu)
 (Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea)
 (Bucharest,g=418,h=20,f=438,Cha= Pitesti)
 (Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad)
 (Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad)
 (Lugoj,g=229,h=244,f=473,Cha=Timisoara),
 (Urziceni, g = 503, h = 10, f = 513, Cha = Bucharest)}

Trong tập OPEN, Craiovo là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn Tmax = Craiovo. Ta lấy Craiovo ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Craiovo có thể đến được Drobeta, Pitesti, R. Vilcea. Ta lần lượt tính h, g và f của các nút này.

$$h(Drobeta) = 242$$

$$g(Drobeta) = g(Craiovo) + cost(Craiovo,Drobeta) = 366 + 120 = 486$$

$$f(Drobeta) = g(Drobeta) + h(Drobeta) = 486 + 242 = 728$$

$$h(Pitesti) = 100$$

$$g(Pitesti) = g(Craiovo) + cost(Craiovo,Pitesti) = 366 + 138 = 504$$

$$f(Pitesti) = g(Pitesti) + h(Pitesti) = 504 + 100 = 604$$

$$h(R.Vilcea) = 193$$

$$g(R.Vilcea) = g(Craiovo) + cost(Craiovo,R.Vilcea) = 366 + 193 = 559$$

$$h(R.Vilcea) = g(R.Vilcea) + h(R.Vilcea) = 559 + 193 = 752$$

Pitesti đã có trong tập CLOSE và g(Pitesti) mới được tạo ra có giá trị lớn hơn g(Pitesti) trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng. R. Vilcea đã có trong tập CLOSE và g(R. Vilcea) mới được tạo ra có giá trị lớn hơn g(R. Vilcea) trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng. Drobeta không có trong tập OPEN lẫn CLOSE nên ta sẽ thêm 1 nút này vào tập OPEN.

OPEN={ (Oradea, g=146, h=380, f=526, Cha=Zerind),
 (Giurgiu, g = 508, h = 77, f = 585, Cha = Bucharest),
 (Mehadia, g=299, h=241, f=540, Cha=Lugoj),
 (Vaslui, g = 645, h = 199, f = 884),
 (Hirsova, g = 601, h = 0, f = 601),
 (Drobeta, g=486, h=242, f=728, Cha=Craiovo) }

CLOSE={ (Arad, g=0, h=0, f=0)
 (Sibiu, g=140, h=253, f=393, Cha= Arad)
 (R.Vilcea, g=220, h=193, f=413, Cha=Sibiu)
 (Fagaras, g=239, h=176, f=415, Cha=Sibiu)
 (Pitesti, g=317, h=100, f=417, Cha= R.Vilcea)
 (Bucharest, g=418, h=20, f=438, Cha= Pitesti)
 (Timisoara, g=118, h=329, f=447, Cha=Arad)
 (Zerind, g=75, h=374, f=449, Cha=Arad)
 (Lugoj, g=229, h=244, f=473, Cha=Timisoara),
 (Urziceni, g = 503, h = 10, f = 513, Cha = Bucharest),
 (Craiovo, g=366, h=160, f=526, Cha= R.Vilcea) }

Trong tập OPEN, Oradea là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn T_{max} = Oradea. Ta lấy Oradea ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Oradea có thể đi được đến Zerind, Sibiu. Ta lần lượt tính h, g và f của các nút này

$$h(\text{Zerind}) = 374$$

$$g(\text{Zerind}) = g(\text{Oradea}) + \text{cost}(\text{Oradea}, \text{Zerind}) = 146 + 71 = 217$$

$$f(\text{Zerind}) = g(\text{Zerind}) + h(\text{Zerind}) = 374 + 217 = 591$$

$$h(\text{Sibiu}) = 253$$

$$g(\text{Sibiu}) = g(\text{Oradea}) + \text{cost}(\text{Oradea}, \text{Sibiu}) = 146 + 151 = 297$$

$$f(\text{Sibiu}) = g(\text{Sibiu}) + h(\text{Sibiu}) = 297 + 253 = 550$$

Sibiu đã có trong tập CLOSE và $g(\text{Sibiu})$ mới được tạo ra có giá trị lớn hơn $g(\text{Sibiu})$ trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng. Zerind đã có trong tập CLOSE và $g(\text{Zerind})$ mới được tạo ra có giá trị lớn hơn $g(\text{R. Vilcea})$ trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng

OPEN = {(Giurgiu, $g = 508$, $h = 77$, $f = 585$, Cha = Bucharest),
 (Mehadia, $g=299$, $h=241$, $f=540$, Cha=Lugoj),
 (Vaslui, $g = 645$, $h = 199$, $f = 884$),
 (Hirsova, $g = 601$, $h = 0$, $f = 601$),
 (Drobeta, $g=486$, $h=242$, $f=728$, Cha=Craiovo)}

CLOSE = {(Arad, $g=0$, $h=0$, $f=0$)
 (Sibiu, $g=140$, $h=253$, $f=393$, Cha= Arad)
 (R.Vilcea, $g=220$, $h=193$, $f=413$, Cha=Sibiu)
 (Fagaras, $g=239$, $h=176$, $f=415$, Cha=Sibiu)
 (Pitesti, $g=317$, $h=100$, $f=417$, Cha= R.Vilcea)
 (Bucharest, $g=418$, $h=20$, $f=438$, Cha= Pitesti)
 (Timisoara, $g=118$, $h=329$, $f=447$, Cha=Arad)
 (Zerind, $g=75$, $h=374$, $f=449$, Cha=Arad)
 (Lugoj, $g=229$, $h=244$, $f=473$, Cha=Timisoara),
 (Urziceni, $g = 503$, $h = 10$, $f = 513$, Cha = Bucharest),
 (Craiovo, $g=366$, $h=160$, $f=526$, Cha= R.Vilcea),
 (Oradea, $g=146$, $h=380$, $f=526$, Cha=Zerind)}

Trong tập OPEN, Mehadia là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{\max} = \text{Mehadia}$. Ta lấy Mehadia ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE. Từ Mehadia có thể đi được đến Lugoj, Drobeta. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này.

$$h(\text{Lugoj}) = 244$$

$$g(\text{Lugoj}) = g(\text{Mehadia}) + \text{cost}(\text{Mehadia}, \text{Lugoj}) = 299 + 70 = 369$$

$$f(\text{Lugoj}) = g(\text{Lugoj}) + h(\text{Lugoj}) = 369 + 244 = 613$$

$$h(\text{Drobeta}) = 242$$

$$g(\text{Drobeta}) = g(\text{Mehadia}) + \text{cost}(\text{Mehadia}, \text{Drobeta}) = 299 + 75 = 374$$

$$f(Drobeta) = g(Drobeta) + h(Drobeta) = 374 + 242 = 616$$

Lugoj đã có trong tập CLOSE và $g(\text{Lugoj})$ mới được tạo ra có giá trị lớn hơn $g(\text{Lugoj})$ trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng. Drobeta đã có trong tập OPEN và $g(\text{Drobeta})$ mới được tạo ra có giá trị bé hơn $g(\text{Drobeta})$ trong tập OPEN nên ta sẽ cập nhật giá trị g và f của chúng trong tập OPEN.

OPEN = {(Giurgiu, $g = 508$, $h = 77$, $f = 585$, Cha = Bucharest),
 (Hirsova, $g=601$, $h=0$, $f=601$, Cha=Urziceni),
 (Vaslui, $g=645$, $h=199$, $f=844$, Cha=Urziceni),
 (Drobeta, $g=374$, $h=242$, $f=616$, Cha=Mehadia)}

CLOSE = {(Arad, $g=0$, $h=0$, $f=0$),
 (Sibiu, $g=140$, $h=253$, $f=393$, Cha=Arad),
 (R.Vilcea, $g=220$, $h=193$, $f=413$,Cha=Sibiu),
 (Fagaras, $g=239$, $h=176$, $f=415$,Cha=Sibiu),
 (Pitesti, $g=317$, $h=100$, $f=417$,Cha= R.Vilcea),
 (Bucharest, $g=418$, $h=20$, $f=438$,Cha= Pitesti),
 (Timisoara, $g=118$, $h=329$, $f=447$,Cha=Arad),
 (Zerind, $g=75$, $h=374$, $f=449$,Cha=Arad),
 (Lugoj, $g=229$, $h=244$, $f=473$,Cha=Timisoara),
 (Urziceni, $g = 503$, $h = 10$, $f = 513$, Cha = Bucharest),
 (Craiova, $g=366$, $h=160$, $f=526$,Cha= R.Vilcea),
 (Oradea, $g=146$, $h=380$, $f=526$,Cha=Zerind),
 (Mehadia, $g=299$, $h=241$, $f=540$,Cha=Lugoj)}

Trong tập OPEN, Giurgiu là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{\max} = \text{Giurgiu}$. Ta lấy Giurgiu ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE

Từ Giurgiu có thể đi được đến Bucharest. Ta lần lượt tính h , g và f của các nút này

$$h(\text{Bucharest}) = 20$$

$$g(\text{Bucharest}) = g(\text{Giurgiu}) + \text{cost}(\text{Giurgiu}, \text{Bucharest}) = 508 + 20 = 528$$

$$f(\text{Bucharest}) = g(\text{Bucharest}) + h(\text{Bucharest}) = 528 + 20 = 548$$

Bucharest đã có trong tập CLOSE và $g(\text{Bucharest})$ mới được tạo ra có giá trị lớn hơn $g(\text{Bucharest})$ trong tập CLOSE nên ta sẽ không cập nhật giá trị g và f của chúng

OPEN = {(Hirsova, $g=601$, $h=0$, $f=601$, Cha=Urziceni),

(Vaslui, $g=645$, $h=199$, $f=844$, Cha=Urziceni),

(Drobeta, $g=374$, $h=242$, $f=616$, Cha=Mehadia)}

CLOSE = {(Arad, $g=0$, $h=0$, $f=0$),

(Sibiu, $g=140$, $h=253$, $f=393$, Cha=Arad),

(R.Vilcea, $g=220$, $h=193$, $f=413$, Cha=Sibiu),

(Fagaras, $g=239$, $h=176$, $f=415$, Cha=Sibiu),

(Pitesti, $g=317$, $h=100$, $f=417$, Cha= R.Vilcea),

(Bucharest, $g=418$, $h=20$, $f=438$, Cha= Pitesti),

(Timisoara, $g=118$, $h=329$, $f=447$, Cha=Arad),

(Zerind, $g=75$, $h=374$, $f=449$, Cha=Arad),

(Lugoj, $g=229$, $h=244$, $f=473$, Cha=Timisoara),

(Urziceni, $g = 503$, $h = 10$, $f = 513$, Cha = Bucharest),

(Craiovo, $g=366$, $h=160$, $f=526$, Cha= R.Vilcea),

(Oradea, $g=146$, $h=380$, $f=526$, Cha=Zerind),

(Mehadia, $g=299$, $h=241$, $f=540$, Cha=Lugoj),

(Giurgiu, $g = 508$, $h = 77$, $f = 585$, Cha = Bucharest)}

Trong tập OPEN, Hirsova là nút có giá trị f nhỏ nhất nên ta sẽ chọn $T_{\max} = \text{Hirsova}$. Ta lấy Hirsova ra khỏi OPEN và đưa vào CLOSE

OPEN = {(Vaslui, $g=645$, $h=199$, $f=844$, Cha=Urziceni),

(Drobeta, $g=374$, $h=242$, $f=616$, Cha=Mehadia)}

CLOSE = {(Arad, $g=0$, $h=0$, $f=0$),

(Sibiu, $g=140$, $h=253$, $f=393$, Cha=Arad),

(R.Vilcea, $g=220$, $h=193$, $f=413$, Cha=Sibiu),

(Fagaras, $g=239$, $h=176$, $f=415$, Cha=Sibiu),

(Pitesti,g=317,h=100,f=417,Cha= R.Vilcea),
(Bucharest,g=418,h=20,f=438,Cha= Pitesti),
(Timisoara,g=118,h=329,f=447,Cha=Arad),
(Zerind,g=75,h=374,f=449,Cha=Arad),
(Lugoj,g=229,h=244,f=473,Cha=Timisoara),
(Urziceni, g = 503, h = 10, f = 513, Cha = Bucharest),
(Craiova,g=366,h=160,f=526,Cha= R.Vilcea),
(Oradea,g=146,h=380,f=526,Cha=Zerind),
(Mehadia,g=299,h=241,f=540,Cha=Lugoj),
(Giurgiu, g = 508, h =77, f = 585, Cha = Bucharest),
(Hirsova, g=601, h=0, f=601, Cha=Urziceni)}

Tìm thấy đích (Hirsova, g=601, h=0, f=601) thuật toán dừng lại.

Đường đi: **Arad → Sibiu → R. Vilcea → Pitesti → Bucharest → Urziceni → Hirsova**

- Thuật toán GBFS

Ban đầu:

✓ Arad(h=336)

Cập nhật đường đi: **Arad**

Do bắt đầu từ Arad(h=366), nên ta có thể đi đến các nút Sibiu(h=253), Timisoara(h=329) và Zerind(h=374). Nên ta sẽ di chuyển đến nút Sibiu.

✓ Sibiu(h=253)

Cập nhật đường đi: **Arad → Sibiu**

Từ Sibiu ta có thể đi đến các nút Oradea(h=380), Arad(h=366), R. Vilcea(h=193) và Fagaras(h=176). Ta thấy Fagaras có h nhỏ nhất nên ta sẽ tiếp tục đi đến nút này.

✓ Fagaras(h=176)

Cập nhật đường đi: **Arad → Sibiu → Fagaras**

Từ Fagaras ta đi đến các nút Sibiu(h=253), Bucharest(h=20). Ta chọn Bucharest để đi tiếp.

✓ Bucharest(h=20)

Cập nhật đường đi: **Arad** → **Sibiu** → **Fagaras** → **Bucharest**

Từ Bucharest ta đi đến được Fagaras(h=176), Pitesti(h=100), Giurgiu(h=77), Urziceni(h=10). Nên ta chọn Urziceni với h nhỏ nhất để đi tiếp.

✓ Urziceni(h=10)

Cập nhật đường đi: **Arad** → **Sibiu** → **Fagaras** → **Bucharest** → **Urziceni**

Từ Urziceni ta có thể đi đến Bucharest(h=20), Vaslui(h=199) và Hirsova(h=0). Ta chọn Hirsova và kiểm tra thấy đây chính là nút đích nên kết thúc chương trình.

Cập nhật đường đi: **Arad** → **Sibiu** → **Fagaras** → **Bucharest** → **Urziceni** → **Hirsova**

Thông báo tìm kiếm thành công và trả về đường đi tìm được.

- Các thuật toán cho sẵn cần sửa lại thuật toán A*, cần sửa lại như sau:
 - **Thêm danh sách CLOSE:** để lưu trữ các nút đã mở rộng, ngăn việc lặp lại.
 - **Cập nhật giá trị f:** Tính tentative_g cho các nút kề và chỉ cập nhật các nút kề nếu nó chưa trong OPEN hoặc g mới nhỏ hơn g cũ.
 - **Lưu trữ đường đi:** sử dụng parent để lưu nút cha cho mỗi nút.

```

1  def AStar(startNode, heuristics, graph, goalNode):
2      priorityQueue = queue.PriorityQueue()
3      g_cost = {startNode: 0} # Giá trị g cho mỗi nút
4      parent = {startNode: None} # Để lưu trữ đường đi
5      priorityQueue.put((heuristics[startNode], startNode))
6
7      open_set = set([startNode])
8      closed_set = set()
9
10     while not priorityQueue.empty():
11         current_cost, current_node = priorityQueue.get()
12
13         if current_node == goalNode:
14             path = []
15             while current_node:
16                 path.append(current_node)
17                 current_node = parent[current_node]
18             return path[::-1] # Trả về đường đi từ startNode đến goalNode
19
20         closed_set.add(current_node)
21
22         for neighbor, cost in graph[current_node]:
23             if neighbor in closed_set:
24                 continue
25
26             tentative_g = g_cost[current_node] + int(cost)
27
28             # Nếu neighbor chưa có trong OPEN hoặc tìm thấy g thấp hơn
29             if neighbor not in open_set or tentative_g < g_cost.get(neighbor, float('inf')):
30                 g_cost[neighbor] = tentative_g
31                 f_cost = tentative_g + heuristics[neighbor]
32                 parent[neighbor] = current_node
33                 priorityQueue.put((f_cost, neighbor))
34                 open_set.add(neighbor)
35
36     return []

```

- Sau khi triển khai chạy tay thì kết quả của cả 2 thuật toán giống với kết quả chạy máy.

```

GBFS => ['Arad', 'Sibiu', 'Fagaras', 'Bucharest', 'Urziceni', 'Hirsova']
Astar => ['Arad', 'Sibiu', 'Rimnicu_Vilcea', 'Pitesti', 'Bucharest', 'Urziceni', 'Hirsova']

```