Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Informática
INF05023 - Planejamento em Inteligência Artificial

**Lista de Exercícios Três**

Felipe Zorzo Pereira
João Vitor de Camargo

Porto Alegre, Junho de 2019

## Exercício 1

a)

i) Suponha que temos 3 buracos (A, B e C) um do lado do outro e apenas uma bola. As únicas ações possíveis são mover a bola para o buraco da direita (A é o buraco mais à esquerda, B é o do meio e C o mais à direita). A bola inicia no buraco A. O objetivo de nossa tarefa de planejamento $\Pi_1$ é ter uma bola em cada um dos buracos, o que é obviamente impossível, já que possuímos apenas uma bola. Abaixo a descrição em STRIPS da tarefa de planejamento $\Pi_1$, que é insolúvel.
$V = \{AT_A, AT_B, AT_C\}$
$I = \{AT_A\}$
$G = \{AT_A, AT_B, AT_C\}$
$A = \{MOVE_{AB}, MOVE_{BC}\}$
- $pre(MOVE_{AB}) = \{AT_A\}$; $add(MOVE_{AB}) = \{AT_B\}$; $del(MOVE_{AB}) = \{AT_A\}$; $cost(MOVE_{AB}) = 1$.
- $pre(MOVE_{BC}) = \{AT_B\}$; $add(MOVE_{BC}) = \{AT_C\}$; $del(MOVE_{BC}) = \{AT_B\}$; $cost(MOVE_{BC}) = 1$.

A tarefa de planejamento relaxada, entretanto, não possui os efeitos de deleção que indicam que a bola foi retirada do buraco da esquerda. Com isso, ao movermos a bola para a direita, é como se, magicamente, aparecesse uma nova bola no buraco de onde acabamos de tirar a bola. Portanto, com a sequência de ações $\{MOVE_{AB}, MOVE_{BC}\}$, atingimos o estado objetivo $\{AT_A, AT_B, AT_C\}$ com custo 2, já que cada movimento tem custo unitário. A tarefa relaxada $\Pi_1^+$ está abaixo:
$V = \{AT_A, AT_B, AT_C\}$
$I = \{AT_A\}$
$G = \{AT_A, AT_B, AT_C\}$
$A = \{MOVE_{AB}, MOVE_{BC}\}$
- $pre(MOVE_{AB}) = \{AT_A\}$; $add(MOVE_{AB}) = \{AT_B\}$; $del(MOVE_{AB}) = \varnothing$; $cost(MOVE_{AB}) = 1$.
- $pre(MOVE_{BC}) = \{AT_B\}$; $add(MOVE_{BC}) = \{AT_C\}$; $del(MOVE_{BC}) = \varnothing$; $cost(MOVE_{BC}) = 1$.

ii) Dizemos que um estado s' domina um estado s caso o conjunto das variáveis *true* em s esteja contido no conjunto das variáveis *true* em s'. Uma consequência de relaxarmos a tarefa de planejamento $\Pi_2$ é que seus estados dominarão os seus respectivos estados na tarefa original. Isso ocorre pois a diferença entre as duas tarefas é que, em $\Pi_2^+$, não temos mais os efeitos de deleção. De acordo com o *relaxation lemma*: dada uma sequência π de operadores aplicáveis em s, a mesma sequência $\pi^+$, mas com os operadores relaxados, é aplicável a s' (estado que domina s). Além disso, se π leva a um estado-objetivo a partir do estado s, então $\pi^+$ leva a um estado objetivo a partir de s'. Portanto, é impossível que $\Pi_2$ tenha uma solução de tamanho 2, mas $\Pi_2^+$ não tenha qualquer solução.

iii) Podemos usar o mesmo problema descrito no exercício i, mas adicionando um novo buraco D, à direita de C, que também deve estar ocupado ao fim de nossa tarefa. Além dessa nova variável D que aparece no conjunto de variáveis V e no *goal* G, temos um novo operador $MOVE_{CD}$, de custo 2, já que o buraco C é mais profundo e requer mais esforço para que consigamos retirar a bola dele. Com isso, a tarefa $\Pi_3$ é:

$V = \{AT_A, AT_B, AT_C, AT_D\}$
$I = \{AT_A\}$
$G = \{AT_A, AT_B, AT_C, AT_D\}$
$A = \{MOVE_{AB}, MOVE_{BC}, MOVE_{CD}\}$

- $pre(MOVE_{AB}) = \{AT_A\}$; $add(MOVE_{AB}) = \{AT_B\}$; $del(MOVE_{AB}) = \{AT_A\}$; $cost(MOVE_{AB}) = 1$.
- $pre(MOVE_{BC}) = \{AT_B\}$; $add(MOVE_{BC}) = \{AT_C\}$; $del(MOVE_{BC}) = \{AT_B\}$; $cost(MOVE_{BC}) = 1$.
- $pre(MOVE_{CD}) = \{AT_C\}$; $add(MOVE_{CD}) = \{AT_D\}$; $del(MOVE_{CD}) = \{AT_C\}$; $cost(MOVE_{CD}) = 2$.

A relaxação $\Pi_3^+$ dessa tarefa, cuja sequência de ações $\{MOVE_{AB}, MOVE_{BC}, MOVE_{CD}\}$ atinge o estado-objetivo e tem custo ótimo igual a 4, é dada por:

$V = \{AT_A, AT_B, AT_C, AT_D\}$
$I = \{AT_A\}$
$G = \{AT_A, AT_B, AT_C, AT_D\}$
$A = \{MOVE_{AB}, MOVE_{BC}, MOVE_{CD}\}$

- $pre(MOVE_{AB}) = \{AT_A\}$; $add(MOVE_{AB}) = \{AT_B\}$; $del(MOVE_{AB}) = \varnothing$; $cost(MOVE_{AB}) = 1$.
- $pre(MOVE_{BC}) = \{AT_B\}$; $add(MOVE_{BC}) = \{AT_C\}$; $del(MOVE_{BC}) = \varnothing$; $cost(MOVE_{BC}) = 1$.
- $pre(MOVE_{CD}) = \{AT_C\}$; $add(MOVE_{CD}) = \{AT_D\}$; $del(MOVE_{CD}) = \varnothing$; $cost(MOVE_{CD}) = 2$.

iv) Tomemos com base a tarefa de planejamento proposta em i. Os buracos, agora, são nomeados com $H_0...H_i$, com $H_0$ sendo o buraco mais à esquerda e $H_i$, com $i > 1$, o buraco mais à direita. Nosso objetivo, agora, é ter uma bola em $H_0$ e outra em $H_1$. Quando conseguimos levar a nossa bola até $H_i$, ganhamos outra bola no buraco $H_0$ e podemos movimentar a nossa bola antiga para $H_1$. Cada movimento de bola custa 1. Com isso, obtemos a família de tarefas de planejamento que segue o modelo abaixo:

$V = \{H_0, H_1, H_2, H_3, ..., H_i\}$
$I = \{H_0\}$
$G = \{H_0, H_1\}$
$A = \{MOVE_{0,1}, MOVE_{1,2}, MOVE_{2,3}, \ldots, MOVE_{(i-1),i}, GetNewBall\}$

- Para cada k indo de 1 a i:
  $pre(MOVE_{(k-1),k}) = \{H_{k-1}\}$; $add(MOVE_{(k-1),k}) = \{H_k\}$; $del(MOVE_{(k-1),k}) = \{H_{k-1}\}$; $cost(MOVE_{(k-1),k}) = 1$.
- $pre(GetNewBall) = \{H_i\}$; $add(GetNewBall) = \{H_0, H_1\}$; $del(GetNewBall) = \{H_i\}$; $cost(GetNewBall) = 1$.

Com esse modelo para a família de tarefas de planejamento, o custo ótimo para a tarefa $P_i$ será de i+1. Se relaxarmos o mesmo modelo, entretanto, o custo ótimo de $P_i^+$ será sempre 1, já que bastará que utilizemos o operador $MOVE_{0,1}$, de custo 1, para chegarmos no estado objetivo $\{H_0, H_1\}$. O modelo para a família de tarefas de planejamento relaxada é dado por:

$V = \{H_0, H_1, H_2, H_3, ..., H_i\}$

$I = \{H_0\}$

$G = \{H_0, H_1\}$

$A = \{MOVE_{0,1}, MOVE_{1,2}, MOVE_{2,3}, \ldots, MOVE_{(i-1),i}, GetNewBall\}$

- Para cada k indo de 1 a i:
  $pre(MOVE_{(k-1),k}) = \{H_{k-1}\}$; $add(MOVE_{(k-1),k}) = \{H_k\}$; $del(MOVE_{(k-1),k}) = \varnothing$; $cost(MOVE_{(k-1),k}) = 1$.
- $pre(GetNewBall) = \{H_i\}$; $add(GetNewBall) = \{H_0, H_1\}$; $del(GetNewBall) = \varnothing$; $cost(GetNewBall) = 1$.

b) $h^*(I) = 6$

$h^+(I) = 4$

O *Relaxed Task Graph* criado para o exercício se encontra no arquivo Relaxed_Task_Graph.png. Nele, a cor **vinho** representa $h^{max}$, enquanto a cor **azul** representa $h^{add}$. Com base nesse grafo, temos:

$h^{max}(I) = 2$

$h^{add}(I) = 6$

A relaxação da tarefa de planejamento dada é descrita por:

$V = \{AT_0, AT_1, AT_2, AT_3, AT_4, VISITED_0, VISITED_1, VISITED_2, VISITED_3, VISITED_4\}$

$I = \{AT_2, VISITED_2\}$

$G = VISITED_0 \land VISITED_1 \land VISITED_2 \land VISITED_3 \land VISITED_4$

$O = \{MOVE_{i,i+1}, MOVE_{i+1,i}\}$ para todo i de 0 a 3.

Para todo $MOVE_{j,k}$:

- $pre(MOVE_{j,k}) = AT_j$
- $eff(MOVE_{j,k}) = AT_k \land VISITED_k$
- $cost(MOVE_{j,k}) = 1$

No *Relaxed Task Graph*, renomeamos os operadores da seguinte forma:

- $O_0 = MOVE_{0,1}$
- $O_1 = MOVE_{1,0}$
- $O_2 = MOVE_{1,2}$
- $O_3 = MOVE_{2,1}$
- $O_4 = MOVE_{2,3}$
- $O_5 = MOVE_{3,2}$
- $O_6 = MOVE_{3,4}$
- $O_7 = MOVE_{4,3}$

c) A implementação se encontra no arquivo /fast-downward/src/search/planopt_heuristics/h_greedy_relaxed_plan.cc.

d) Abaixo se encontram os resultados obtidos para cada instância do diretório *castle*. Quando uma solução para o plano não existe, utilizamos o símbolo "-" no campo de custo. Quando pode ser que uma solução exista, mas ela não foi descoberta dentro do limite de tempo e memória definidos, utilizamos um *lower bound* (lb) para o custo. Marcamos o campo "*relaxed solvable*" com "*can't answer*" quando o plano que utiliza a heurística implementada no exercício 1.c estava procurando por uma solução, mas foi interrompido pelo limite de tempo ou memória. Nesse caso nós não podemos afirmar se uma solução para o plano existe ou não.

| Instance | Relaxed solvable | Solved within resource limits | Heuristic value of the initial state | Discovered plan cost | Optimal relaxed plan cost | Optimal plan cost |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2-2-8 | Yes | Yes | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 3-3-8 | Yes | Yes | 16 | 9 | 9 | 9 |
| 4-3-5 | Yes | Yes | 19 | 16 | 14 | 15 |
| 5-4-7 | No | No | 59 | - | lb = 14 | - |
| 5-4-9 | Yes | Yes | 77 | 19 | 19 | 19 |
| 5-4-10 | No | No | ∞ | - | - | - |
| 6-4-7 | Yes | Yes | 45 | 27 | lb = 15 | 26 |
| 7-5-4 | Yes | Yes | 124 | 38 | lb = 12 | 35 |
| 8-5-9 | Yes | Yes | 89 | 51 | lb = 16 | 39 |
| 9-6-5 | No | No | 173 | - | lb = 12 | - |
| 10-6-7 | Yes | Yes | 139 | 72 | lb = 16 | lb = 28 |
| 12-7-3 | Can't answer | No | 410 | lb = 22 | lb = 17 | - |
| 16-9-1 | Can't answer | No | 616 | lb = 12 | lb = 8 | - |