Algoritmo Gerador de Planos: POP – Partial-Order Planner

- Algoritmo *não-determinístico*.
- Utilização de **choose** e **fail**.
- Começa com um plano parcial mínimo.
- A cada passo expande o plano ao tentar alcançar uma pré-condição c de um passo S_{need}.
- Estende o plano: através dos passos do plano parcial ou através de um conjunto de operadores que alcançam as pré-condições.
- Guarda o link causal para a pré-condição alcançada, para poder resolver as 'ameaças'.
- Importante: SELECT_SUBGOAL não tem várias alternativas.
- Razões: todas as precond precisam ser consideradas, comutativo.

function POP(*initial, goal, operators*) **returns** *plan*

  plan ← MAKE-MINIMAL-PLAN(*initial, goal*)
  loop do
    if SOLUTION?(*plan*) **then return** *plan*
    S_{need}, c ← SELECT-SUBGOAL(*plan*)
    CHOOSE-OPERATOR(*plan, operators*, S_{need}, c)
    RESOLVE-THREATS(*plan*)
  end

---

function SELECT-SUBGOAL(*plan*) **returns** S_{need}, c

  pick a plan step S_{need} from STEPS(*plan*)
    with a precondition c that has not been achieved
  return S_{need}, c

---

procedure CHOOSE-OPERATOR(*plan, operators,* S_{need}, c)

  choose a step S_{add} from *operators* or STEPS(*plan*) that has c as an effect
  if there is no such step **then fail**
  add the causal link $S_{add} \xrightarrow{c} S_{need}$ to LINKS(*plan*)
  add the ordering constraint $S_{add} \prec S_{need}$ to ORDERINGS(*plan*)
  if S_{add} is a newly added step from *operators* **then**
    add S_{add} to STEPS(*plan*)
    add $Start \prec S_{add} \prec Finish$ to ORDERINGS(*plan*)

---

procedure RESOLVE-THREATS(*plan*)

  for each S_{threat} that threatens a link $S_i \xrightarrow{c} S_j$ in LINKS(*plan*) **do**
    choose either
      Promotion: Add $S_{threat} \prec S_i$ to ORDERINGS(*plan*)
      Demotion: Add $S_j \prec S_{threat}$ to ORDERINGS(*plan*)
    if not CONSISTENT(*plan*) **then fail**
  end

Gerador de Planos com Operadores Parcialmente Instanciados

- POP não trata de valores possíveis para uma variável.
- Ex: efeito $\neg Em(x)$ de algum operador deve ser considerado uma ameaça para uma condição $Em(Casa)$?
- O efeito em questão é uma *possível* ameaça. Soluções possíveis:
  - 1) Resolver agora com uma restrição de igualdade: se o gerador de planos escolhe um operador cujo efeito é $\neg Em(x)$, adicionar $x = HWS$ de forma a não ameaçar a condição $Em(Casa)$ já alcançada.
  - 2) Resolver agora com uma restrição de desigualdade: $x \neq Casa$, complicado de implementar a unificação.
  - 3) Resolver mais tarde: deixar que $\neg Em(x)$ seja uma possível ameaça. Se, mais tarde, $x = Casa$, resolver. Desvantagem: difícil de saber se o plano é solução.

Gerador de Planos com Operadores Parcialmente Instanciados

- Usando operadores não totalmente instanciados, temos que garantir que todas as instanciações vão chegar ao objetivo.
- Definição: um passo S_i **alcança** uma pre-condição c do passo S_j se (1) $S_i \prec S_j$ e S_i tem um efeito que necessariamente unifica com c, e (2) não há nenhum passo S_k tal que $S_i \prec S_k \prec S_j$ em alguma linearização do plano, e S_k tem um efeito que possivelmente unifique com $\neg c$.
- Algoritmo POP pode ser visto como um procedimento de prova de que cada pré-condição é alcançada.
- Novo procedimento CHOOSE_OPERATOR devolve o S_i que atende condição (1). Novo RESOLVE_THREAT atende condição (2).
- Usam abordagem de "resolver possíveis ameaças mais tarde".

procedure CHOOSE-OPERATOR(*plan, operators,* S_{need}, c)

choose a step S_{add} from *operators* or STEPS(*plan*) that has c_{add} as an effect
such that u = UNIFY(c, c_{add}, BINDINGS(*plan*))
if there is no such step
then fail
add u to BINDINGS(*plan*)
add $S_{add} \xrightarrow{c} S_{need}$ to LINKS(*plan*)
add $S_{add} \prec S_{need}$ to ORDERINGS(*plan*)
if S_{add} is a newly added step from *operators* **then**
add S_{add} to STEPS(*plan*)
add *Start* $\prec S_{add} \prec$ *Finish* to ORDERINGS(*plan*)

---

procedure RESOLVE-THREATS(*plan*)

for each $S_i \xrightarrow{c} S_j$ **in** LINKS(*plan*) **do**
for each S_{threat} **in** STEPS(*plan*) **do**
for each c' **in** EFFECT(S_{threat}) **do**
if SUBST(BINDINGS(*plan*), c) = SUBST(BINDINGS(*plan*), $\neg c'$) **then**
choose either
Promotion: Add $S_{threat} \prec S_i$ to ORDERINGS(*plan*)
Demotion: Add $S_j \prec S_{threat}$ to ORDERINGS(*plan*)
if not CONSISTENT(*plan*)
then fail
end
end
end

Gerador de Planos com Operadores Parcialmente Instanciados

- POP é "sound" e completo qdo trata de operadores parcialmente instanciados?
- Se todas as ameaças forem resolvidas e POP conseguir gerar um plano completo totalmente instanciado (por exemplo, instanciando variáveis através do conjunto de valores possíveis, "binding list"): sound.
- É completo porque o algoritmo gera todos os possíveis planos que atendem condição (1), e remove todos os planos que não atendem condição (2).

Engenharia do Conhecimento para Geração de Planos

- Metodologia para resolver problemas com a abordagem de geração de planos:
  - Decidir sobre o que falar.
  - Decidir o vocabulário de condições (literais), operadores, e objetos.
  - Codificar operadores.
  - Codificar uma descrição de uma instância do problema (estado inicial, por exemplo).
  - Apresentar problemas ao gerador de planos e obter planos (problema = objetivo).

Ex 1: O Mundo dos Blocos

- O que falar? blocos, mesa, pilhas de blocos, regras para movimentação de blocos.
- Vocabulário?
  - objetos (blocos e mesa) representados por constantes.
  - $Sobre(b, x)$ usado para representar que bloco b está sobre x, onde x pode ser um outro bloco ou a mesa.
  - Operador para mover blocos: $Move(b, x, y)$, move bloco b da posição no topo de x para a posição no topo de y.
  - Não podemos representar $\neg\exists x Sobre(x, b)$ como pré-condição, então usamos $TopoLimpo(b)$.

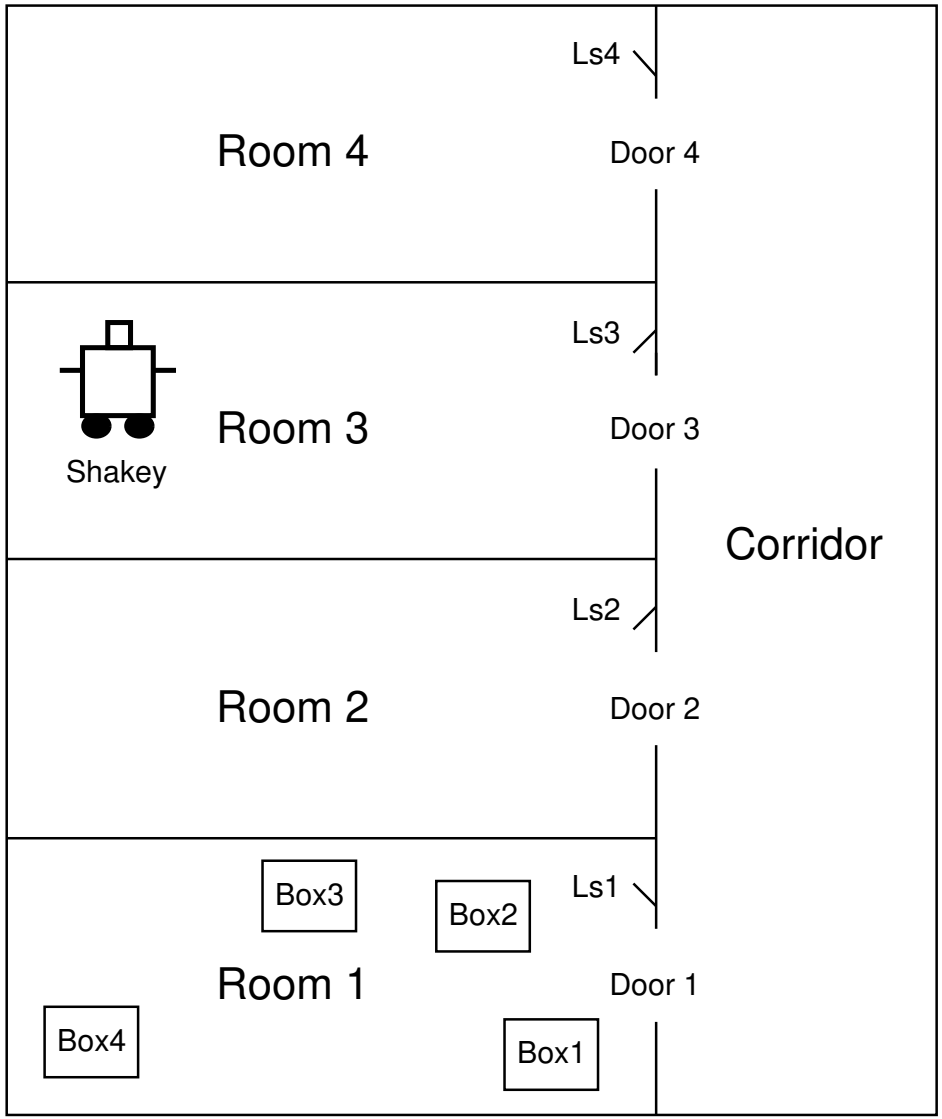
Ex 1: O Mundo dos Blocos

- Operadores?

  Op(ACAO: Move(b,x,y),
  PRECOND: Sobre(b,x) $\wedge$ TopoLimpo(b) $\wedge$ TopoLimpo(y),
  EFEITO: Sobre(b,y) $\wedge$ TopoLimpo(x) $\wedge$
  $\neg$ Sobre(b,x) $\wedge$ $\neg$ TopoLimpo(y))

- Problema: não opera bem quando x ou y é uma mesa.
- Solução: introduzir nova ação p/ mover um bloco b de x para a mesa (MovePara Mesa(b,x)) e nova interpretação para TopoLimpo(x) (há espaço vazio em x para colocar um bloco).
- Nada para prevenir planner de sempre usar Move(b,x,Mesa) invés de MoveParaMesa(b,x). Espaço de busca maior, mas encontra solução.
- Sobre(B,C,C) pode ocorrer no plano.

Ex 2: O Mundo de Shakey



Ex 2: O Mundo de Shakey

- O que falar? caixas, interruptores, portas, posições, regras para movimentação.
- Vocabulário e Operadores?
  - $Va(y)$: vai da posição corrente para a posição y, pré-condição $Em(Shakey, x)$ representa a posição corrente. Para este problema, $EstaEm(x, r) \wedge EstaEm(y, r)$ para poder representar q uma porta está em duas salas ao mesmo tempo e traçar plano para Shakey passar de uma sala p/ outra.
  - $Empurrar(b, x, y)$: empurrar objeto b de posição x para y.
  - $Subir(b)$: subir numa caixa.
  - $Descer(b)$: descer de uma caixa.
  - $AcenderLuz(int)$.
  - $ApagarLuz(int)$.