## 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<br>
        such that $u$ = UNIFY(c, $c_{add}$, BINDINGS(*plan*))<br>
  **if** there is no such step<br>
    **then fail**<br>
  add $u$ to BINDINGS(*plan*)<br>
  add $S_{add} \xrightarrow{c} S_{need}$ to LINKS(*plan*)<br>
  add $S_{add} \prec S_{need}$ to ORDERINGS(*plan*)<br>
  **if** $S_{add}$ is a newly added step from *operators* **then**<br>
    add $S_{add}$ to STEPS(*plan*)<br>
    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**<br>
    **for each** $S_{threat}$ **in** STEPS(*plan*) **do**<br>
      **for each** $c'$ **in** EFFECT($S_{threat}$) **do**<br>
        **if** SUBST(BINDINGS(*plan*), $c$) = SUBST(BINDINGS(*plan*), $\neg c'$) **then**<br>
          **choose** either<br>
            *Promotion:* Add $S_{threat} \prec S_i$ to ORDERINGS(*plan*)<br>
            *Demotion:* Add $S_j \prec S_{threat}$ to ORDERINGS(*plan*)<br>
        **if not** CONSISTENT(*plan*)<br>
          **then fail**<br>
      **end**<br>
    **end**<br>
  **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 $TopoLimpo(x)$.

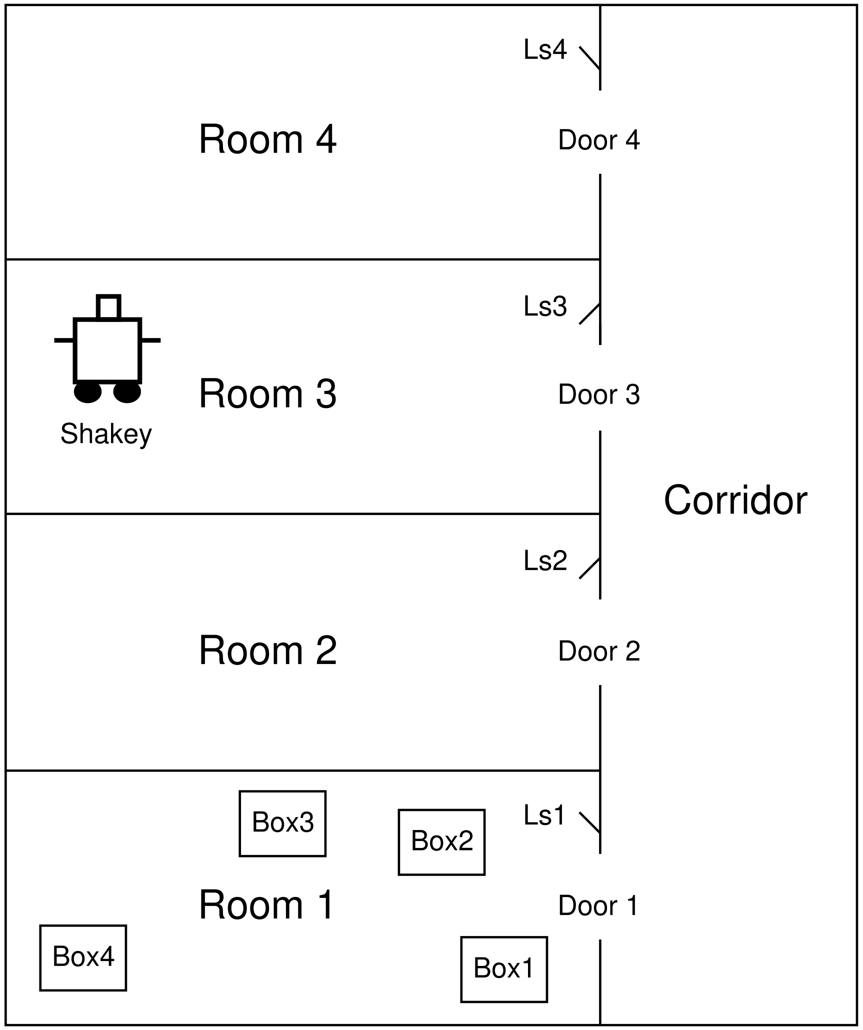
## Ex 1: O Mundo dos Blocos

- 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


Ls4
Room 4
Door 4
Ls3
Room 3
Door 3
Shakey
Corridor
Ls2
Room 2
Door 2
Box3
Box2
Ls1
Room 1
Door 1
Box4
Box1

## 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.
  - $AcenderLuz(int)$.
  - $ApagarLuz(int)$.