# PLANEAMENTO
# CAP 10 (SEC 10.1-10.2)

Parcialmente adaptado de

http://aima.eecs.berkeley.edu

e de

Dana Nau: Lecture slides for Automated Planning

# Resumo

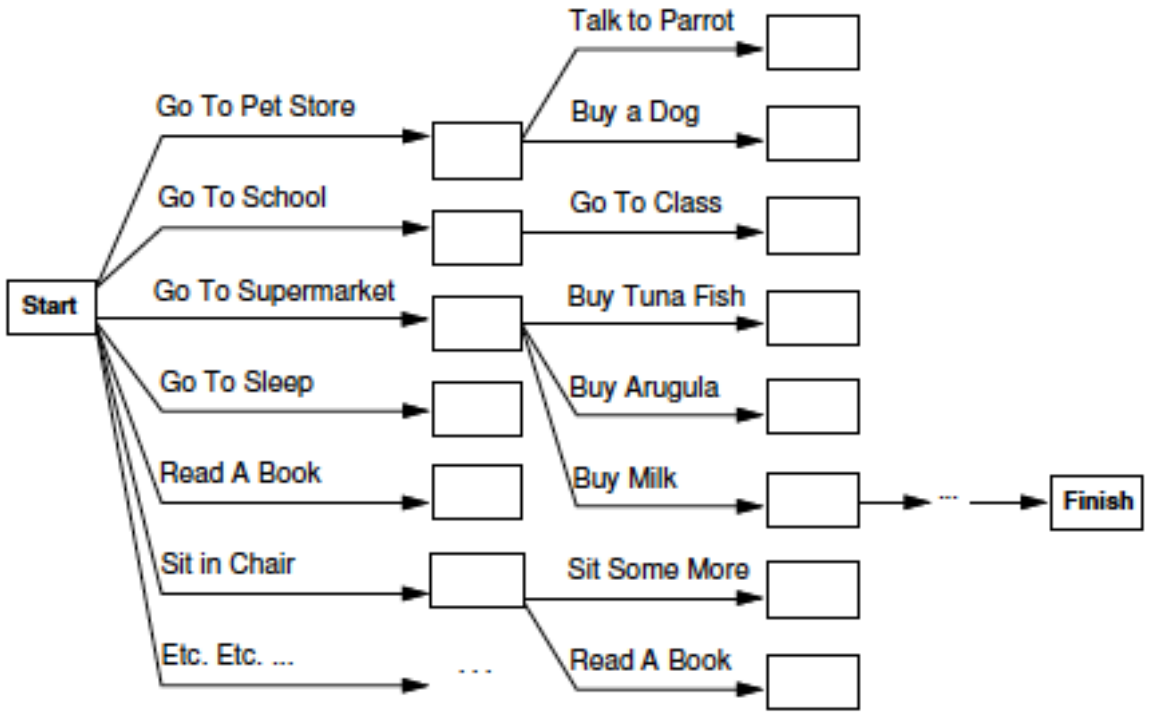
- Procura vs. Planeamento
- Planning Domain Description Language (PDDL)
- Algoritmos de Planeamento
  - Pesquisa em espaço de estados
    - Planeamento Progressivo
    - Planeamento Regressivo

# Planeamento

- Greração de sequências de acções para efectuar tarefas e atingir objectivos:
  - Estados, acções, objectivos
- Procurar soluções sobre espaço abstracto de planos
- Muitas aplicações práticas:
  - Desenho e manufacturação
  - Jogos
  - Exploração espacial
  - Operações humanitárias
  - Operações militares
  - …

# Procura vs. Planeamento

- Considere-se a tarefa comprar leite, bananas, e um berbequim. Algoritmos de procura habituais aparentemente parecem desadequados:




- Heurística/teste à posteriori é problemático

# Linguagem de planeamento

- Como expressar um problema de planeamento?
- A linguagem deve:
  - Ser suficientemente expressiva para permitir a respresentação de vários problemas
  - Ser suficientemente restritiva para permitir algoritmos eficientes
  - Permitir que os algoritmos tirem partido da estrutura do problema.
- Alternativas:
  - Lógica proposicional
    - requer demasiadas frases: e.g. no mundo do Wupus, a acção de mover uma casa requer uma frase para cada célula, direcção e tempo!
  - Lógica de primeira ordem
    - Demasiado expressiva. Dificuldade em expressar o que não muda como consequência de uma acção. Foi muito usada no passado.
  - Linguagens específicas para planeamento
    - PDDL, STRIPS, etc…

# Linguagem PDDL (estados)

- A linguagem PDDL (Planning Domain Definition Language) pretende permitir a combinação da procura em espaço de estados com as representações lógicas.
- Representação de estados: O mundo é representado logicamente por intermédio de conjunções de literais positivos concretos (sem variáveis e símbolos de função). Adopta-se a semântica de bases de dados:
  - Mundo fechado (CWA): todos os fluentes não mencionados são falsos.
  - Nomes únicos: todas as constantes são diferentes.
  - Domínio fechado: só existem as constantes referidas na representação.
- Estado inicial: Conjunção de literais ground positivos.
- Objectivos: Conjunção de literais (positivos ou negativos).
- A PDDL é uma generalização da linguagem STRIPS.
  - A linguagem STRIPS não permite literais negativos nas pre-condições nem nos objectivos.

# Linguagem PDDL (acções)

- Acção = Pré-condição + Efeitos
- Acções: representadas por esquemas de acção constituídos por um nome e lista de variáveis (e.g. Go(x,y)), precondições e efeitos, ambos uma conjunção de literais (positivos ou negativos).

  *Action( Fly(p,from, to),*
  *PRECOND: At(p,from) ∧ Plane(p) ∧ Airport(from) ∧ Airport(to)*
  *EFFECT: ¬AT(p,from) ∧ At(p,to)*
  *)*


- As variáveis que aparecem em efeitos também devem ocorrer na precondição.
- Uma acção é aplicável num estado $s$ se as precondições são satisfeitas por $s$

$$a \in \text{Actions}(s) \Leftrightarrow s \models \text{Precond}(a)$$

- Um esquema de acção $a$ pode assim ter várias instâncias.

# Linguagem PDDL (semântica de conjuntos)

- Normalmente é mais fácil usar a semântica de conjuntos:
  - estados são conjuntos de atomos positivos concretos (ground) manipulados por operações de conjuntos.
- O resultado de executar uma instância de uma acção $a$ num estado $s$ é o estado

$$Result(a,s) = (s - Del(a)) \cup Add(a)$$

  - em que a lista (na realidade é um conjunto) de remoções $Del(a)$ é formada pelos literais negativos no efeito de $a$, e a lista de adições $Add(a)$ é o conjunto de literais positivos no efeito de $a$.
- Um plano é uma sequência de acções PDDL proposicionalizadas que leva do estado inicial ao estado final.

# Assunções da Linguagem PDDL

- Estados são conjuntos de literais positivos
- Os lterais que não ocorrem num estado assumem-se falsos (princípio do mundo fechado – CWA)
- Um efeito positivo adiciona o literal ao estado. Um efeito negativo remove o literal complementar do estado. O resto mantém-se inalterado para o estado seguinte.
- Fluentes não mencionam explicitamente o tempo. Em PDDL o tempo e o estado é  implícito nos esquemas de acções: a precondição refere-se sempre ao tempo t e o efeito ao tempo t + 1 imediatamente seguinte.

# Exemplo: transporte aéreo de mercadoria

Init(At(C1, SFO) ∧ At(C2,JFK) ∧ At(P1,SFO) ∧ At(P2,JFK) ∧ Cargo(C1) ∧
Cargo(C2) ∧ Plane(P1) ∧ Plane(P2) ∧ Airport(JFK) ∧ Airport(SFO))

Goal(At(C1,JFK) ∧ At(C2,SFO))

Action(Load(c,p,a)
PRECOND: At(c,a) ∧At(p,a) ∧Cargo(c) ∧Plane(p) ∧Airport(a)
EFFECT: ¬At(c,a) ∧In(c,p))
Action(Unload(c,p,a)
PRECOND: In(c,p) ∧At(p,a) ∧Cargo(c) ∧Plane(p) ∧Airport(a)
EFFECT: At(c,a) ∧ ¬In(c,p))
Action(Fly(p,from,to)
PRECOND: At(p,from) ∧Plane(p) ∧Airport(from) ∧Airport(to) ∧ (to ≠ from)
EFFECT: ¬ At(p,from) ∧ At(p,to))

# Exemplo: pneu sobresselente

Init(At(Flat, Axle) ∧ At(Spare,trunk))
Goal(At(Spare,Axle))

Action(Remove(Spare,Trunk)
  PRECOND: At(Spare,Trunk)
  EFFECT: ¬At(Spare,Trunk) ∧ At(Spare,Ground))
Action(Remove(Flat,Axle)
  PRECOND: At(Flat,Axle)
  EFFECT: ¬At(Flat,Axle) ∧ At(Flat,Ground))
Action(PutOn(Spare,Axle)
  PRECOND: At(Spare,Groundp) ∧¬At(Flat,Axle)
  EFFECT: At(Spare,Axle) ∧ ¬At(Spare,Ground))
Action(LeaveOvernight
  PRECOND:
  EFFECT: ¬ At(Spare,Ground) ∧ ¬ At(Spare,Axle) ∧ ¬ At(Spare,trunk) ∧ ¬ At(Flat,Ground) ∧
  ¬ At(Flat,Axle) )

- Este exemplo vai para além de STRIPS pois tem pré-condições negativas.

# Exemplo: mundo dos blocos

Init(On(A, Table) ∧ On(B,Table) ∧ On(C,A) ∧ Block(A) ∧ Block(B) ∧
Block(C) ∧ Clear(B) ∧ Clear(C))

Goal(On(A,B) ∧ On(B,C))

Action(Move(b,x,y)
PRECOND: On(b,x)∧Clear(b)∧Clear(y)∧Block(b)∧(b≠ x)∧(b≠ y)∧(x≠ y)
EFFECT: On(b,y)∧Clear(x)∧¬ On(b,x)∧¬ Clear(y))
Action(MoveToTable(b,x)
PRECOND: On(b,x) ∧ Clear(b) ∧ Block(b) ∧ (b≠ x)
EFFECT: On(b,Table) ∧ Clear(x) ∧ ¬ On(b,x))

# Exemplo: Caparica

Init( Em(Fct) ∧ Com(Dinheiro) ∧ Praia(Caparica) ∧ Local(Caparica) ∧ Local(Fct))

Action(Ir(x)
PRECOND: Em(y), Local(x)
EFFECT: Em(x), ¬Em(y))

Action(BanhoSol
PRECOND: Em(y), Praia(y)
EFFECT: Com(Bronze), Com(Sede), ¬Sem(Sede))

Action(BeberCerveja
PRECOND: Com(Sede), Com(Dinheiro)
EFFECT: ¬Com(Sede), ¬Com(Dinheiro), Sem(Sede))

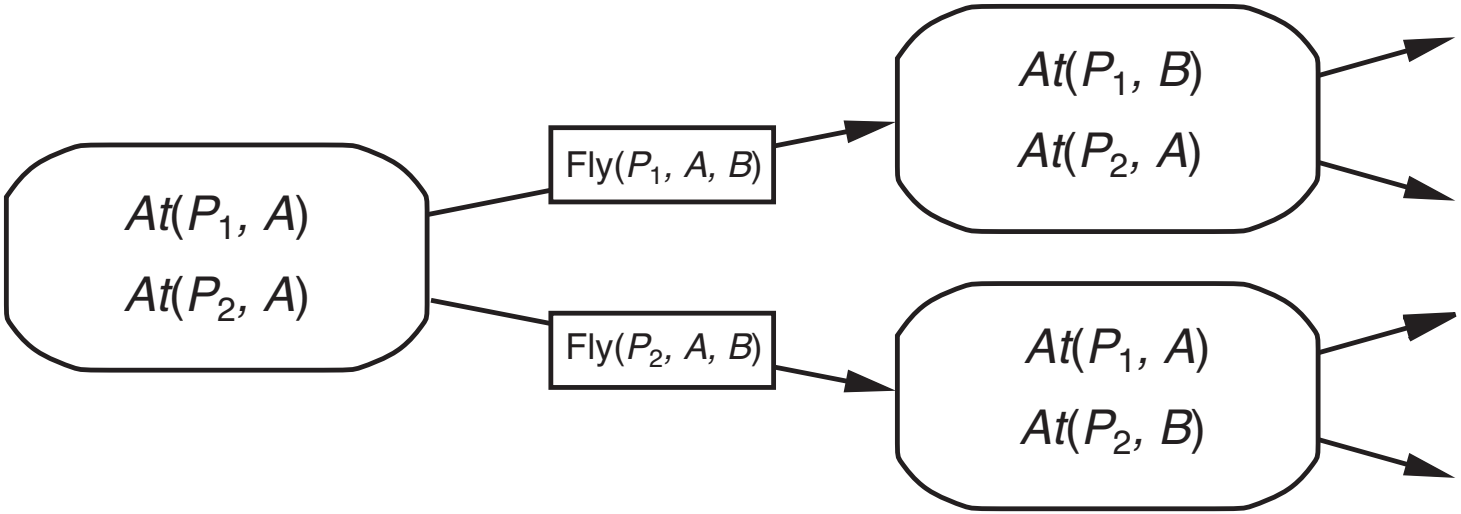
Goal(Com(Bronze), Sem(Sede))

# Planeamento em espaços de estados

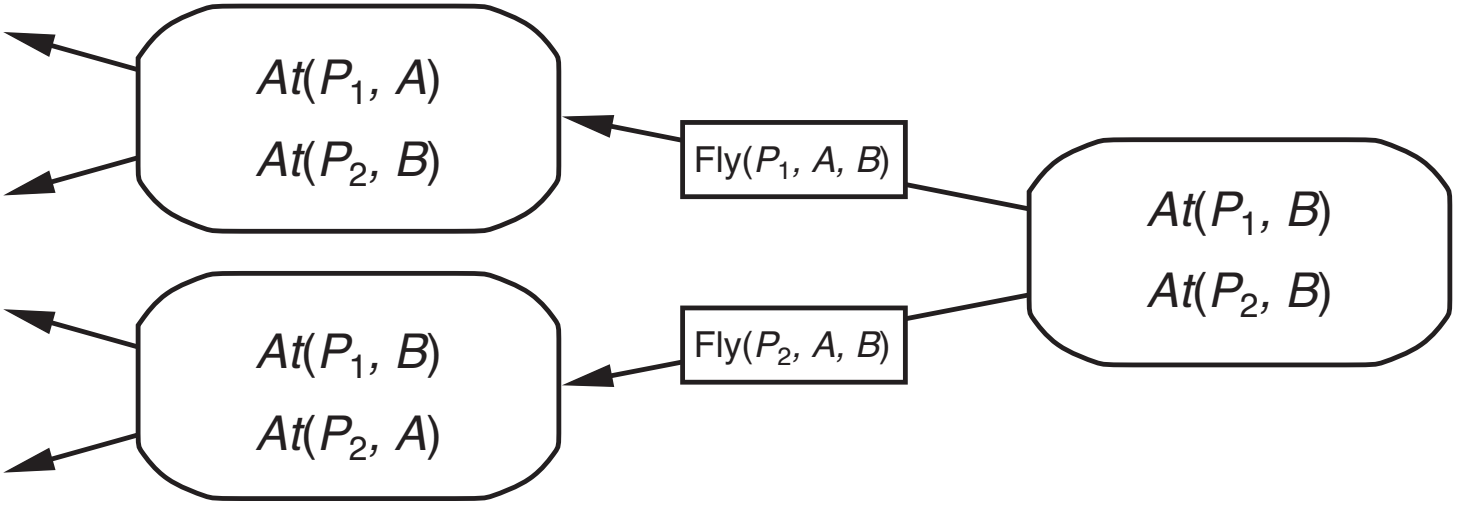
- Podem-se utilizar algoritmos de procura em espaco de estados para efectuar planeamento em dois sentidos:
- Planeamento Progressivo: Partir do estado inicial, aplicar os operadores PDDL até atingir um estado que torna os objectivos verdadeiros.
  - Considerar o efeito de todas as acções possíveis num dado estado
  - Utilização imediata dos algoritmos de procura analisados anteriormente, mas pode gerar muitos estados por utilização de acções irrelevantes...
- Planeamento Regressivo: Partir dos objectivos e utilizar os “operadores” ao contrario. Trabalha com estados incompletos.
  - Para atingir um objectivo, o que é que tinha que ter sido verdade no estado anterior.

# Planeamento Progressivo e Regressivo

(a)




(b)



# Algoritmo Progressivo

- Formulação como problema de pesquisa de espaço de estados:
  - Estado inicial: estado inicial do problema de planeamento
  - Acções: aquelas cujas pré-condições estão satisfeitas
    - Transição: adicionar efeitos positivos e remover negativos
  - Objectivo: o estado satisfaz o objectivo?
  - Custo de acção: cada tem um custo unitário.
- Sem funções, qualquer algoritmo de pesquisa em grafos completo é um algoritmo de planeamento completo
- Ineficiente:
  - Problema das acções irrelevantes
  - Requer boas heurísticas para ser eficiente.

# Exemplo: planeamento progressivo

- Plano PDDL: [Ir(Caparica),BanhoSol,BeberCerveja]
- Execução do plano e mudanças de estado:

{Em(Fct), Com(Dinheiro), Praia(Caparica), Local(Caparica), Local(Fct)}

⇓ Ir(Caparica)

{Em(Caparica), Com(Dinheiro), Praia(Caparica), Local(Caparica), Local(Fct)}

⇓ BanhoSol

{Em(Caparica), Com(Dinheiro), Com(Bronze), Com(Sede), Praia(Caparica), Local(Caparica), Local(Fct)}

⇓ BeberCerveja

{Em(Caparica), Com(Bronze), Sem(Sede), Praia(Caparica), Local(Caparica), Local(Fct)}

- O plano PDDL [Ir(Caparica),BanhoSol,BanhoSol,BeberCerveja] também é solução?
- E o plano PDDL [Ir(Caparica),BanhoSol,BeberCerveja,BanhoSol]?

# Algoritmo Regressivo

- Como determinar os predecessores?
  - Quais os estados a partir dos quais executar executar uma dada acção leva ao objectivo?
    - Objectivo = {At(C1, B), At(C2, B), … , At(C20, B)}
    - Acção relevante para o primeiro elemento: Unload(C1,p,B)
    - Apenas funciona se as pré-condições estiverem satisfeitas
    - Estado anterior = {In(C1, p), At(p, B), At(C2, B), …, At(C20, B)}
    - Sub-objectivo At(C1,B) não deve estar presente neste estado.
- Acções têm que ser consistentes: não desfazer literais desejados.
- Principal vantagem: apenas as acções relevantes são consideradas.

# Algoritmo Regressivo

- Processo genérico de construção do predecessor:
  - Dada uma descrição do objectivo G
  - Seja A uma acção que é relevante e consistente
  - O predecessor é construído da seguinte forma:
    - Efeitos positivos de A são eliminados de G
    - Cada pre-condição de A é adicionada, se ainda lá não estiver
  - O predecessor torna-se no novo objectivo.
- Qualquer algoritmo de pesquisa standard pode ser usado para efectuar a pesquisa
- Termina quando o predecessor for satisfeito pelo estado inicial.
  - Poderá requerer unificação.

# Exemplo: planeamento regressivo

- Construção do plano a partir dos objectivos:

{Com(Bronze), Sem(Sede)}

⇑ BeberCerveja

{Com(Dinheiro), Com(Bronze), Com(Sede)}

⇑ BanhoSol

{Em(y), Com(Dinheiro), Praia(y)}

⇑ Ir(Caparica)

{Em(x), Com(Dinheiro), Praia(Caparica), Local(x)}

(conclui-se do estado inicial fazendo x=Fct)

# Heurísticas para planeamento em espaço de estados

- Quer o planeamento progressivo quer o planeamento regressivo requerem heurísticas apropriadas. Utiliza-se a técnica de relaxação de problemas.
- Ignorar precondições: toda a acção é aplicável em qualquer estado. Atenção que o número de passos para alcançar o objectivo não é o número de objectivos por satisfazer porque:
  1. uma acção pode satisfazer vários objectivos,
  2. uma acção pode desfazer o efeito de outra.
  - Para muitos problemas uma boa heurística considera 1 e ignora 2 relaxando as acções removendo das precondições e efeitos todos os literais que não estejam no estado objectivo. Contudo obter o número mínimo de acções para resolver o problema relaxado é o problema de SET-COVER que é NP-difícil...
- ignorar lista de remoções: removem-se todos os efeitos negativos aos operadores e utiliza-se um algoritmo de planeamento (mais simples...) para obter o número mínimo de acções necessárias. NP-difícil mas pode ser aproximado por hill-climbing.

# Heurísticas para planeamento em espaço de estados

- As técnicas anteriores podem não ser suficientes, logo poderá ser necessário efectuar abstracção dos estados, sendo a mais simples ignorar alguns fluentes.
- Outras heurísticas utilizam decomposição para dividir o problema em partes, resolver cada parte independentemente e combinar as partes.
- independência de subobjectivos: assume que o custo de resolver uma conjunção de subobjectivos é aproximado pela soma do custo de resolver cada um dos subobjectivos independentemente.
  - Pode ser optimista (logo admissível) quando existem interacções negativas entre os subplanos.
  - Pode ser pessimista (logo não admissível) quando os subplanos têm acções redundantes.
- Seja G um conjunto de fluentes particionado em conjuntos disjuntos $G_1,\ldots,G_n$ e $P_1,\ldots,P_n$ os planos para os resolver. A heurística $\max_i COST(P_i)$ é admissível mas $\sum_i COST(P_i)$ já não. Mas se $G_i$ e $G_j$ forem independentes podemos utilizar $COST(P_i)+COST(P_j)$.