



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

---

Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais

**PCS2059 – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

3.º Quadrimestre, 2008

# **PLANEJAMENTO NO MUNDO REAL**

**Equipe:**

Geovandro Pereira

Milton Saito

Pedro Pedruzzi

São Paulo  
Outubro de 2008



## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| Índice.....  | 2  |
| 1. Introdução.....   | 3  |
| 2. Planejamento e Ação em Domínios Não Determinísticos ..... | 3  |
| 3. Planejamento Condicional.....                             | 4  |
| 4. Replanejamento e Monitoramento de Execução .....          | 6  |
| 5. Planejamento Contínuo.....                                | 7  |
| 6. Planejamento MultiAgente.....                             | 8  |
| 7. Referências .....   | 10 |



## 1. Introdução

O presente trabalho tem como objetivo capturar e sintetizar, de forma clara e objetiva, as principais idéias sobre *planejamento no mundo real* presentes no livro "Artificial Intelligence, A Modern Approach" [1].

## 2. Planejamento e Ação em Domínios Não Determinísticos

No planejamento clássico, um agente pode executar seu plano "com os olhos fechados", pois o domínio é observável, estático e determinístico. Além disso, a descrição das suas ações são corretas e completas. Por outro lado, em um ambiente incerto, um agente precisará de meios para observar o que está acontecendo no ambiente enquanto executa seu plano e, possivelmente modificando ou trocando de plano se algum evento inesperado ocorra.

No mundo real, as informações são incompletas pois são parcialmente observáveis, não determinísticas, ou ambos. Por exemplo, a porta de um armário pode estar trancada ou não; uma das minhas chaves pode abrir ou não a porta se ela estiver trancada; eu posso estar ciente ou não das imprecisões das informações. Assim, meu modelo de mundo é fraco, mas correto. As imperfeições ocorrem também devido ao modelo de mundo adotado, por exemplo, se acreditarmos que uma das chaves pode abrir a porta do armário, poderemos estar errados se a fechadura da porta foi trocada. Portanto, os agentes precisam ter a capacidade de tratar as informações incompletas e incorretas para conseguirem interagir com o mundo real agregando algum tipo de valor a suas atividades.

A possibilidade de se ter um conhecimento completo e correto depende de quanta indeterminação que existe no mundo [1]. Na indeterminação limitada, as ações podem ter efeitos imprevisíveis, entretanto os possíveis efeitos podem ser listados. Por exemplo, ao lançarmos um dado, é razoável pensar que a face superior do dado será um número de 1 a 6. Um agente tratará as indeterminações limitadas, fazendo planos para todas as possíveis situações. Por outro lado, a indeterminação ilimitada, o conjunto de efeitos são imprevisíveis ou são impossíveis de serem listados. Por exemplo, pilotar um avião, a economia e suas recessões. Um agente somente poderá tratar com indeterminações ilimitadas se estiver preparado para revisar seus planos e/ou sua base de conhecimento.

Existem quatro métodos de planejamento para manipular as indeterminações. O planejamento sem sensores e o condicional são apropriados para as indeterminações limitadas, já o planejamento contínuo e o monitoramento e replanejamento de execução são mais apropriados para as indeterminações ilimitadas.

**Planejamento sem sensores:** Este método constrói planos seqüenciais que são executados sem obter informações do ambiente, mas considera todas as circunstâncias independentemente do estado inicial verdadeiro. O algoritmo do planejamento sem sensor precisa garantir que os planos atinjam o objetivo final. Esse método de planejamento faz



uso da coerção, isto é, a idéia de que o mundo pode ser forçado dentro de um conjunto de estados mesmo quanto se tem pouco ou nenhuma informação do ambiente.

**Planejamento Condicional:** O planejamento condicional também pode se chamar de plano de contingência. Este método trata as indeterminações dentro do escopo de indeterminação limitada construindo planos condicionais com diferentes ramificações para as diferentes contingências que podem ocorrer. Analogamente ao planejamento clássico, os agentes primeiramente planejam e somente depois executam os planos que foram elaborados, com a diferença de que somente algumas partes do plano são executadas, pois algumas decisões (condições) foram tomadas a partir das informações obtidas do ambiente.

**Monitoramento e Replanejamento de execução:** Nessa abordagem, o agente pode usar qualquer uma das técnicas de planejamento anteriores (clássica, sem sensores e condicional) para construir o plano, porém é ainda capaz de monitorar a execução e julgar se o plano está adequado para a situação atual ou precisa ser revisado. O Replanejamento acontece se algo sair errado.

**Planejamento Contínuo:** As abordagens anteriores são desenvolvidas para parar assim que alcançarem seus objetivos. A abordagem do planejamento contínuo ocorre durante todo o tempo de vida e pode tratar situações inesperadas do ambiente, ainda que tais situações ocorram enquanto o agente está em processo de elaboração de um plano. Nessa técnica também podem ser tratados tanto a criação quanto o abandono de objetivos.

### 3. Planejamento Condicional

Este tipo de planejamento deve ser usado quando um agente depara-se com algum tipo de incerteza no ambiente. O agente então prepara um plano avaliando todas as possibilidades de ocorrência após uma ação naquele ambiente. Para descobrir qual a próxima ação a ser executada o agente testa as condições de seu plano através de ações sensoriais.

#### Planejamento Condicional em ambientes completamente observáveis

Em ambientes totalmente observáveis pode-se dizer que o estado atual do ambiente é conhecido, porém se o ambiente é não-determinístico e o agente não conhece o resultado de uma ação antes de executá-la. Desse modo ações de teste (em tempo de execução) devem ser feitas para testar condições e descobrir qual será o próximo estado do ambiente após a ação efetiva.

Para tomarmos um exemplo de ambiente não-determinístico, podemos, por exemplo, adaptar não-determinismo no problema do "mundo do aspirador". Na definição do problema o aspirador poderia executar uma das três ações: limpar, mover-se para a esquerda ou mover-se para a direita. Além disso o estado do ambiente em que ele se



encontrava também era totalmente definido: sujo ou limpo e esquerda ou direita. Podemos introduzir a seguinte nova definição: Se o aspirador está na direita e a ação a ser tomada é "left" o aspirador pode mover-se para esquerda OU continuar na direita. Este efeito é denominado **efeito disjuntivo** e introduz não-determinismo ao problema que antes era determinístico.

Para o mesmo problema do "mundo do aspirador" podemos introduzir o conceito de **efeito condicional**. Tal efeito ocorre quando para se executar uma ação deve-se testar condições para avaliar qual ação será efetivamente realizada. Quando o aspirador recebe o comando de sucção ele pode estar em qualquer posição e testar as seguintes condições para decidir: se eu estiver na esquerda eu limpo a esquerda, se não, eu limpo a direita.

As representações dos efeitos descritos anteriormente seriam as seguintes:

### **Efeito Disjuntivo:**

Ação(esquerda, Pré-Condição:Na direita, Efeito: Na esquerda V Na direita)

### **Efeito Condicional:**

Ação(limpa, Pré-Condição:, Efeito:(quando Na Esquerda: Limpa esquerda) A (quando Na direita: Limpa Direita))}

Podemos introduzir ambos os efeitos anteriores com a seguinte instrução:

Ação(Esquerda, Pré-Condição:NaDireita, Efeito:NaEsquerda V (Na esquerda  $\vee$  quando EsquerdaLimpa:  $\neg$  EsquerdaLimpa)

Ou seja, se o aspirador estiver na direita e recebe o comando de ir para a esquerda ele vai para a esquerda sem fazer nada ou vai para a esquerda e verifica se a esquerda está limpa, se estiver ele suja a esquerda. Deste modo temos os dois efeitos, o disjuntivo pelo fato de ter duas possibilidades de ação( apenas mover-se para esquerda ou mover-se e sujar), e o efeito condicional quando verifica se a esquerda está suja.

No planejamento condicional desejamos que o planejamento seja útil mesmo quando o ambiente deparado é não-determinístico, ou seja, o planejamento deve prever o não-determinismo. Este tipo de problema de planejamento não-determinístico também é chamado de "jogos contra a natureza".

Os planejamentos condicionais também podem ser representados por árvores. O estado inicial é conhecido e é representado pelo nó da raiz. Cada ação pode dar origem a mais de uma ramificação dependendo do número de condições a serem testadas naquela ação. A solução, nesta abordagem é uma subárvore com as seguintes características: 1) tem um nó "goal" em cada folha e 2) especifica uma ação para cada um de seus nós de "estado"(perceba que existem também os nós de decisão que podem se ramificar e cuja decisão é tomada pela natureza), e 3) inclui cada resultado de saída dos seus nós de decisão.

Já que o problema pode ser modelado em árvores pode-se empregar o algoritmo minimax com uma pequena adaptação: Max é mapeado no operador OR e Min é mapeado no operador AND. Para cada estado onde se chega deve ser avaliado cada resultado possível para a ação que se toma, e o algoritmo deve retornar um plano condicional em vez de um único movimento. Ao se chegar num nó do tipo OR a ação a ser executada é a própria ação recebida seguida das ações subseqüentes. No caso de chegar-se em um nó



do tipo AND, o plano é um conjunto de passos If Then Else especificando subplanos para cada saída(condição).

## 4. Replanejamento e Monitoramento de Execução

Um dos maiores problemas dos agentes condicionais é incapacidade de lidar com não-determinismo ilimitado, ou seja, universos em que circunstâncias não previstas podem ocorrer. Em tais ambientes não é possível elaborar um plano de ação condicional eficaz pois as possibilidades não são enumeráveis.

Deste problema surge a motivação para a criação de agentes capazes de monitorar a execução de suas ações e replanejar conforme necessário. Além de lidar com universos onde há não-determinismo ilimitado, tal agente apresenta muitas vezes a vantagem de ser mais interessante trabalhar com planos simples e ser capaz de replanejá-lo, do que com planos complexos envolvendo muitas ramificações condicionais.

Os agentes deste tipo em geral implementam um dos seguintes tipos de monitoramento: de ação ou de plano. No primeiro caso o agente, em cada passo, verifica o ambiente a fim de avaliar se a próxima ação a ser executada irá funcionar. No segundo, mais complexo, uma verificação semelhante avalia todo o restante do plano.

Podemos pensar em uma abordagem simples para um agente que faz monitoramento de ação. Inicialmente o agente gera um plano para atingir seu objetivo. Antes de executar cada uma das ações o agente verifica se alguma das precondições para esta ação não está satisfeita e neste caso replaneja uma sequência de ações para tentar retornar a algum ponto do plano inicial.

Este monitoramento de ação, porém, pode gerar um comportamento pouco inteligente, pois não é capaz de antecipar mudanças de estado além daquelas que são relevantes para a próxima ação do plano.

O desejável é detectar qualquer mudança de estado que inviabilize o restante do plano, com o monitoramento de plano. Isto significa checar todas as precondições das ações restantes, exceto aquelas que ainda serão obtidas em alguma ação do plano restante. Este tipo de monitoramento é capaz de interromper a execução de planos arruinados o quanto antes, o que pode evitar que o agente entre em estados em que o objetivo é inalcançável. Esta checagem tem ainda a vantagem de detectar sucessos acidentais.

No caso de universos parcialmente observáveis a complicação é que "checar as precondições" pode envolver ações de sensoriamento, que afetam o próprio planejamento. O agente deve focar-se, portanto, naquelas precondições que são mais importantes, têm boa chance de falharem e não são demasiado custosas para perceber.

A princípio não poderíamos garantir que este agente sempre alcança seu objetivo no



mundo real. Pois o não-determinismo poderia jogá-lo em um estado morto. Mas assumindo que seja possível construir um plano até o objetivo a partir de qualquer estado do ambiente, então o agente eventualmente atingirá o objetivo.

O grande problema ocorre quando tentativas repetidas de atingir o objetivo tornam-se fúteis, por conta de uma precondição ou efeito do qual o agente não tem conhecimento. O que faz com que o agente entre em loop, onde o plano de reparo sempre o leva a repetir a mesma situação inesperada que gerou o replanejamento. O replanejamento não é capaz de solucionar de fato o problema devido à existência de uma precondição desconhecida, por exemplo a utilização de uma chave errada para abrir uma porta. Uma solução para isso é considerar diversas possibilidades para planos de reparo mesmo aquelas que pareçam muito longas e/ou pouco inteligentes e, então, escolher aleatoriamente entre elas. Outra forma é implementar o aprendizado, de forma que o agente é capaz de corrigir suas próprias descrições de ação (perceber que uma chave pode não abrir uma porta se não for a correta).

Podemos citar como pontos fracos deste agente o fato dele não ser capaz de responder em tempo real, devido aos processos de planejamento, e ao fato de não poder receber novos objetivos ou gerá-los autonomamente.

## 5. Planejamento Contínuo

Um agente de planejamento contínuo, ao contrário dos demais anteriormente apresentados, não é um simples resolvidor de problema. É um agente capaz de persistir indefinidamente no ambiente podendo receber novos objetivos e reformulá-los durante o planejamento.

Este agente possui esta versatilidade devido ao fato de que o planejamento e o monitoramento da execução estão unificados em um único processo ao qual dá-se o nome de planejamento contínuo.

Utiliza um modelo de representação semelhante ao do planejamento de ordem parcial. O planejamento deste agente, diferentemente dos vistos até agora, é construído incrementalmente. A cada passo o agente checa suas percepções, resolve falhas no seu plano e pode retornar uma ação que já esteja pronta para ser executada.

Ao perceber mudanças em suas percepções, o agente inicia um processo de adaptação do plano, isto é, um processo em que determinados tipos de falhas no plano são identificados e corrigidos. Os tipos de correção de falhas são os seguintes: remoção de links causais que não são mais garantidos; extensão de um link causal pois uma condição pôde ser promovida por uma ação anterior sem causar conflitos; remoção de ações que tornaram-se redundantes; remoção de uma ação para ser executada; inclusão de um link causal para suprir uma condição que esteja aberta, podendo envolver a criação de uma nova ação; inclusão de novos objetivos; e remoção de objetivos que foram alcançados.



Este agente é capaz de lidar com diversas dificuldades do agente de replanejamento tais como: atuar em tempo-real, detectar sucessos acidentais, formular seus próprios objetivos e lidar com eventos inesperados que afetam planos futuros.

## 6. Planejamento MultiAgente

Quando existir mais de um agente em um ambiente, os agentes podem inclui-los nos seus modelos de ambiente sem mudar seus algoritmos básicos. Considerar outros agentes no ambiente pode acarretar na redução de performance.

Os sistemas multiagentes (SMA) são compostos por vários agentes que apresentam um comportamento autônomo, e podem ser cooperativo ou competitivo.

No SMA cooperativo, as ações tomadas pelos agentes são com o objetivo de incrementar a utilidade global do sistema, isto é, para a realização de um objetivo comum. Já no caso de SMA competitivo, os agentes são projetados para alcançar objetivos próprios.

### 6.1. Cooperação: União dos objetivos e planos

Considera-se o exemplo do jogo de tênis de duplas. O planejamento pode ser considerado como a elaboração das ações específicas da dupla. Considerando uma situação do exemplo, em que os jogadores unificaram seus objetivos de rebaterem as bolas que forem direcionadas para o lado da quadra da dupla e assegurar que pelo menos um deles faz a cobertura da rede.

O planejamento multiagente consiste no problema de unificar os planos de cada agente, de forma consistente. E, para ilustrar algumas situações, abaixo estão exemplificados dois planos:

Plano 1: A: [Ir(A,[Direita,Linha de Fundo]), Rebater(A, Bola)]  
B: [Inativo(B),Inativo(B)]

Plano 2: A: [Ir(A,[Direita,Rede]), Inativo(A)]  
B: [Ir(B,[Direita,Linha de Fundo]), Rebater(B, Bola)]

Se ambos os jogadores (A e B) tiverem o plano 1 e este for a única solução, o plano está consistente. Entretanto, se o jogador B escolher o plano 2 e o jogador A escolher o plano 1, os jogadores poderão se colidir, não rebaterem a bola e a rede não terá a cobertura. Nessa última situação, o plano apresentou falhas. Os agentes requerem algumas formas de coordenação, possivelmente alcançadas através da comunicação.





## 6.2. Planejamento multicorpos

O planejamento multicorpos é basicamente um agente centralizado que delega ordens de ação as entidades físicas, permitindo que cada agente calcule as possibilidades do plano conjunto obter sucesso.

Para ilustrar o conceito, considera-se um ambiente totalmente observável, não estático (muitos agentes dentro do ambiente) e sincronizado (as ações em cada ponto são executadas ao mesmo tempo e consomem uma quantidade determinada de tempo).

Uma maneira de compor o planejamento unificado é listar todas as possíveis combinações de ações do conjunto. mas isso se mostra inviável e dispendioso pois o número de ações do plano unificado aumenta exponencialmente na medida que aumenta o número de agentes, além de ser igualmente dispendioso explicitar as pré-condições e efeitos de cada ação.

Uma maneira alternativa é definir ações implicitamente, descrevendo como cada agente interage com as outras possíveis ações, por exemplo:

Ação(Bater(A, Bola),  
CONCORRENCIA:  $\sim$ Bater(B,Bola)  
PRÉ-CONDIÇÃO: Aproximação (Bola,[x,y])  $\wedge$  Em(A,[x,y])  
EFEITO: Retorna(Bola))

Percebe-se a restrição de ação de Bater na bola em B, o que garante a possibilidade de A bater na bola. Essa forma de representar as ações conjuntas proíbe ações concorrentes de disputar os mesmos recursos.

## 6.3. Mecanismos de coordenação

Uma mecanismo de coordenação simples é a adoção de uma convenção. Convenções são bastante comuns no mundo real, como parar o carro no farol vermelho e conversar em português, por exemplo.

O uso de convenções tornam uma solução inflexível e não modular, na medida que a cada problema requererá novas convenções. E na ausência das convenções, os agentes podem utilizar a comunicação para conseguirem compartilhar conhecimento e tornar possível a união de planos. No caso do exemplo anterior, a partida de tênis, as duplas poderiam se comunicar falando "minha" ou "sua" para indicar qual dos planos (plano 1 ou 2) seguir. Ainda como elementos do mecanismos de coordenação está o reconhecimento de planos que ocorre quando uma sequência de ações são suficientes para determinar qual ação a ser tomada.

## 6.4. Competição



Nem todo ambiente multiagente envolve agentes colaborativos. Agentes com conflitos de funções de utilidade estão em competição um contra o outro. Um exemplo são jogos soma-zero de dois jogadores, tal como o jogo de xadrez. O jogador de xadrez precisa considerar as possibilidades de movimento do oponente em passos futuros. Isto é, um agente em um ambiente competitivo precisa:

- (a) reconhecer a existência de outros agentes;
- (b) computar alguns possíveis planos de outros agentes;
- (c) computar como os planos de outros agentes interagem com o seu próprio plano;
- (d) decidir a melhor ação nas próximas interações.

Por outro lado, não há compromisso para a união de planos em um ambiente competitivo.

## 7. Referências

[1] Russel, S. and Norvig, P. (2003). Artificial Intelligence - A Modern Approach. London, Prentice Hall International, 2ª. edição.