Cap. 14: Incerteza

- Falta de informação suficiente.
- Conhecimento não completo ou não correto.
- Planos condicionais podem lidar com incerteza de forma limitada.
- Ex: Plano para chegar ao aeroporto saindo 90 mins adiantado.
- Plano vai levar o passageiro ao aeroporto a tempo se:
  - o carro não quebrar
  - não faltar gasolina
  - não acontecer um acidente na estrada
  - ou com o próprio carro
  - não houver um terremoto...
- **Decisão Racional**: depende da importância relativa de vários objetivos e da probabilidade com q eles podem ser alcançados.

Lidando com Incerteza

- Exemplo simples: diagnósticos.
- Para odontologia: $\forall p Sintoma(p, DorDeDente) \Rightarrow Enfermidade(p, Carie)$: regra errada.
- Alternativa: $\forall p Sintoma(p, DorDeDente) \Rightarrow Enfermidade(p, Carie) \vee Enfermidade(p, Gengivite) \vee Enfermidade(p, SisoIncluso)...$
- Disjunção pode ser ilimitada.
- Outra alternativa, regra causal: $\forall p Enfermidade(p, Carie) \Rightarrow (p, DorDeDente)$: regra errada.
- Conclusão: cáries e dores de dentes não estão necessariamente relacionados.

Lidando com Incerteza

- Como representar alguma relação? Graus de incerteza ou de credibilidade (*degrees of belief* ou *degrees of truth*).
- Lógica de primeira ordem não consegue representar incerteza.
- 3 razões:
  - Laziness: muito trabalhoso codificar listas completas de antecedentes ou consequentes necessários para representar todas as regras, e muito ineficiente utilizar o conjunto enorme de regras.
  - Ignorância teórica: ciência médica (pe) não tem uma teoria completa sobre o domínio.
  - Ignorância prática: mesmo sabendo todas as regras, pode aparecer um paciente com dados novos q não estavam previstos.

Lidando com Incerteza

- Para lidar com incerteza: teoria das probabilidades: degree of belief, lógica fuzzy: degree of truth.
- Probabilidade fornece uma forma de resumir a incerteza proveniente de 'laziness' e ignorância.
- Pe, *80% de pacientes já tratados que têm dor de dente, têm cárie*. 80% compreende todos os casos em que reunimos todas as condições necessárias para concluir que se um paciente tem dor de dente, tem cárie, e todos os casos em que o paciente tem dor de dente e cárie, mas os dois não estão relacionados.

Lidando com Incerteza

- 20% compreende todas as possíveis causa de dor de dente não relacionadas por laziness ou ignorância.
- Prob = 0, sentença é categoricamente falsa.
- Prob = 1, sentença é categoricamente verdadeira.
- **evidência**: utilizada pelo agente para atribuir novas probabilidades às proposições a partir de percepções do mundo.
- **probabilidade incondicional**: inicial.
- **probabilidade condicional**: posterior, após evidências serem obtidas.

Incerteza e Decisões Racionais

- A_90 ou A_120 ou A_1440? O q é mais racional?
- Depende dos objetivos e do tempo q uma pessoa está preparada para esperar pelo vôo no aeroporto.
- **Preferências** diferentes para as saídas do plano.
- Pe, Uma saída de um plano pode conter fatores tais como "agente vai chegar a tempo", e "tempo de espera no aeroporto".
- *Utility theory*: para atribuir graus de "utilidade" de um determinado estado.

Agente baseado em Teoria da Decisão

- **Teoria da Decisão** = teoria das probabilidades + Teoria da Utilidade.
- Idéia fundamental: agente é racional sss escolher uma ação que produza o caminho mais útil, em relação a todos os possíveis resultados da ação (princípio MEU, Maximum Expected Utility).
- Agente baseado em teoria da decisão: estrutura similar ao agente lógico.
- Linguagem para representação: lógica proposicional com probabilidades. Diferença sintática entre probabilidade incondicional e condicional (como em probabilidade).

```
function DT-AGENT(percept) returns an action
   static: a set probabilistic beliefs about the state of the world

   calculate updated probabilities for current state based on
      available evidence including current percept and previous action
   calculate outcome probabilities for actions,
      given action descriptions and probabilities of current states
   select action with highest expected utility
      given probabilities of outcomes and utility information
   return action
```

Revisão Probabilidade

- Probabilidade incondicional: P(A), probabilidade incondicional de que proposição A é verdadeira.
- Pe, P(Cárie) = 0.1, 10% de chance de que o paciente tem cárie, *na ausência de qq outra informação.*
- Variáveis aleatórias (ref. prob.):
  - P(Tempo=Ensolarado) = 0.7
  - P(Tempo=Nublado) = 0.08
- Domínio: possíveis valores $\langle x_1, x_2, \ldots, x_n \rangle$ de uma variável aleatória (conjunto discreto para exemplos).
- Convenção: A, B... para variáveis booleanas. X, Y,... para variáveis com vários valores.
- **P**(Tempo) = (0.7,0.2,0.08,0.02): distribuição de probabilidade para a variável Tempo.

Revisão Probabilidade

- P(A|B): probabilidade condicional.
- Pe, P(Carie|DorDeDente) = 0.8: chance de 80% do paciente ter cárie, dado que "tudo que sabemos até agora" é que ele tem dor de dente.
- $P(A \mid B) = \frac{P(A \wedge B)}{P(B)}, com P(B) > 0$.
- Regra do produto: $P(A \wedge B) = P(A \mid B)P(B)$
- $\mathbf{P}(X,Y) = \mathbf{P}(X|Y)\mathbf{P}(Y)$
- Nem sempre evidência está disponível no BD: inferência probabilística.

Axiomas da Probabilidade

- $0 \leq P(A) \leq 1$
- $P(True) = 1$, $P(False) = 0$
- $P(A \vee B) = P(A) + P(B) - P(A \wedge B)$ (ref. diag Venn).
- Propriedades:

$$\begin{aligned}
P(A \vee \neg A) = & \; P(A) + P(\neg A) - P(A \wedge \neg A) \\
P(True) = & \; P(A) + P(\neg A) - p(False) \\
1 = & \; P(A) + P(\neg A) \\
p(\neg A) = & \; 1 - P(A)
\end{aligned}$$

- de Finetti: Crenças inconsistentes levam agente sempre a perder ou produzir ações não desejadas. Axiomas são importantes, pq não deixam agentes criarem inconsistências.

Agent 1		Agent 2		Outcome for Agent 1			
Proposition	Belief	Bet	Stakes	$A \wedge B$	$A \wedge \neg B$	$\neg A \wedge B$	$\neg A \wedge \neg B$
A	0.4	A	4 to 6	-6	-6	4	4
B	0.3	B	3 to 7	-7	3	-7	3
$A \vee B$	0.8	$\neg(A \vee B)$	2 to 8	2	2	2	-8
				-11	-1	-1	-1

Distribuição de Probabilidade Conjunta

- $\mathbf{P}(X_1, \ldots, X_n)$: atribui probabilidades a todos os possíveis *eventos atômicos*.
- *Evento Atômico*: atribuição de valores particulares para todas as variáveis, especificação completa do domínio.
- Pe:

	DorDeDente	¬ DorDeDente
Carie	0.04	0.06
¬ Carie	0.01	0.89

Utilização de Distribuição de Probabilidade Conjunta

- P(Carie): $0.06 + 0.04 = 0.10$
- P(Carie $\vee$ DorDeDente) $= 0.04 + 0.01 + 0.06 = 0.11$
- Mecanismo de inferência pode encontrar probabilidades de uma proposição A, dada a evidência B.
- P(Carie| DorDeDente) $= \frac{0.04}{0.04+0.01} = 0.80$
- Em problemas reais, não é aconselhável usar distribuição de probabilidade conjunta: não prático armazenar a tabela com 2^n entradas para n variáveis booleanas.
- sistemas de raciocínio modernos: lidam diretamente com probabilidades condicionais.

Regra de Bayes

- $P(B \mid A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)}$: teorema, lei ou regra de Bayes.
- Fundamenta a maior parte dos sistemas probabilísticos de inferência.
- Forma geral: $\mathbf{P}(\mathrm{Y}|\mathrm{X}) = \frac{\mathbf{P}(X|Y)\mathbf{P}(Y)}{\mathbf{P}(X)}$
- Na prática regra de Bayes é útil, porque na maioria dos problemas temos estimativas para as duas probabilidades incondicionais e para a probabilidade condicional.
- Pe, um médico sabe que meningite causa enrijecimento nos músculos do pescoço do paciente, em 50% dos casos.
- Tb sabe dois fatos incondicionais: a prob de um paciente ter meningite é $\frac{1}{50.000}$, e a prob de um paciente ter enrijecimento dos músculos do pescoço é $\frac{1}{20}$.

Regra de Bayes

- S = paciente tem enrijecimento do pescoço, M = paciente tem meningite.

$$
\begin{aligned}
P(S \mid M) &= 0.5 \\
P(M) &= \frac{1}{50.000} \\
P(S) &= \frac{1}{20} \\
P(M \mid S) &= \frac{P(S|M)P(M)}{P(S)} = \frac{0.5 \times \frac{1}{50.000}}{\frac{1}{20}} = 0.0002
\end{aligned}
$$

- ie, somente 1 em cada 5000 pacientes com enrijecimento do pescoço têm meningite.

Regra de Bayes

- conhecimento sobre diagnósticos é mais superficial do que conhecimento causal.
- se surgir uma epidemia de meningite, P(M) vai subir.
- um médico que não usa regra de Bayes não vai saber como atualizar seus dados puramente estatísticos. Um médico usando regra de Bayes sabe que P(M| S) cresce proporcionalmente com P(M).