Data Science Academy

www.datascienceacademy.com.br

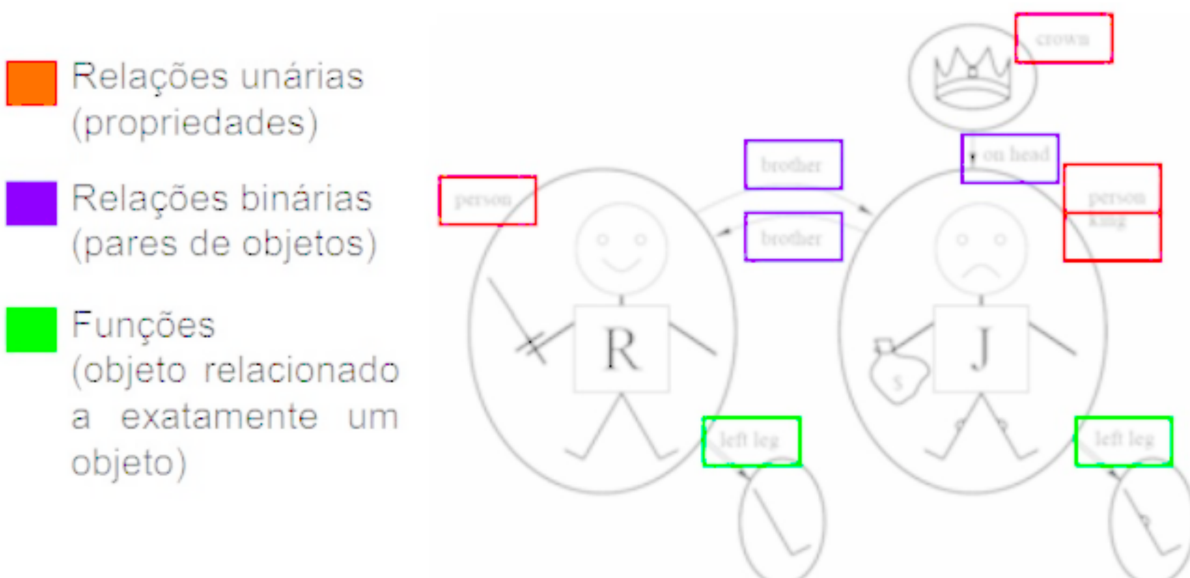
Introdução à Inteligência Artificial

Inferência Proposicional

Estudaremos agora alguns conceitos relacionados aos modernos sistemas de inferência lógica. Veremos algumas regras de inferência simples que podem ser aplicadas a sentenças com quantificadores, a fim de obter sentenças sem quantificadores. Essas regras conduzem naturalmente à ideia de que a inferência de primeira ordem pode ser realizada convertendo-se a base de conhecimento para a lógica proposicional e utilizando-se a inferência proposicional.

Para fins pedagógicos, vamos utilizar um exemplo concreto. A abaixo mostra um modelo com cinco objetos: Ricardo Coração de Leão, rei da Inglaterra de 1189 até 1199; seu irmão mais jovem, o perverso rei João, que governou de 1199 até 1215; a perna esquerda de Ricardo e de João; uma coroa.

Os objetos no modelo podem estar relacionados de diversas maneiras. Na figura, Ricardo e João são irmãos. Formalmente falando, uma relação é apenas o conjunto de tuplas de objetos inter-relacionados. (Uma tupla é uma coleção de objetos organizados em uma ordem fixa e é representada por parênteses em torno dos objetos).



Vamos começar com quantificadores universais. Suponha que nossa base de conhecimento contenha o folclórico axioma-padrão que afirma que todos os reis ambiciosos são perversos: Então, parece bastante viável deduzir qualquer das sentenças a seguir:

$$\forall x\ Rei(x) \wedge Ambicioso(x) \Rightarrow Perverso(x).$$

Então, parece bastante viável deduzir qualquer das sentenças a seguir:

$$Rei(João) \land Ambicioso(João) \Rightarrow Perverso(João)$$
$$Rei(Ricardo) \land Ambicioso(Ricardo) \Rightarrow Perverso(Ricardo)$$
$$Rei(Pai(João)) \land Ambicioso(Pai(João)) \Rightarrow Perverso(Pai(João)).$$
$$\vdots$$

A regra de instanciação universal (IU para abreviar) afirma que podemos deduzir qualquer sentença obtida pela substituição de um termo básico (um termo sem variáveis) para a variável. Na regra de instanciação existencial, a variável é substituída por um novo símbolo de constante único. A declaração formal é a seguinte: para qualquer sentença a variável v e símbolo de constante k que não aparece em outro lugar na base de conhecimento. Enquanto a instanciação universal pode ser aplicada várias vezes para produzir muitas consequências diferentes, a instanciação do existencial pode ser aplicada uma vez e depois a sentença existencialmente quantificada pode ser descartada. Em termos estritos, a nova base de conhecimento não é logicamente equivalente à antiga, mas pode se mostrar inferencialmente equivalente no sentido de ser completa exatamente quando a base de conhecimento original é completa.

Uma vez que temos regras para deduzir sentenças não quantificadas a partir de sentenças quantificadas, torna-se possível reduzir a inferência de primeira ordem à inferência proposicional. A primeira ideia é que, da mesma forma que uma sentença existencialmente quantificada pode ser substituída por uma instanciação, uma sentença universalmente quantificada pode ser substituída pelo conjunto de todas as instanciações possíveis. Por exemplo, suponha que nossa base de conhecimento contenha apenas as sentenças:

$$\forall x\ Rei(x) \land Ambicioso(x) \Rightarrow Perverso(x)$$
$$Rei\ (João)$$
$$Ambicioso(João)$$
$$Irmão(Ricardo, João).$$

Em seguida, aplicamos a IU à primeira sentença, usando todas as substituições de termos básicos possíveis a partir do vocabulário da base de conhecimento — nesse caso, {x/João} e {x/Ricardo}. Obtemos:

$$Rei(João) \land Ambicioso(João) \Rightarrow Perverso(João)$$
$$Rei(Ricardo) \land Ambicioso(Ricardo) \Rightarrow Perverso(Ricardo),$$

E descartamos a sentença universalmente quantificada. Agora, a base de conhecimento é essencialmente proposicional, se visualizarmos as sentenças atômicas básicas — Rei(João), Ambicioso(João), e assim por diante — como símbolos de proposições. Portanto, podemos aplicar qualquer dos algoritmos proposicionais para obter conclusões como Perverso(João).

Essa técnica de proposicionalização pode se tornar completamente geral, ou seja, toda base de conhecimento de primeira ordem e toda consulta podem ser proposicionalizadas de tal modo que a consequência lógica é preservada. Desse modo, temos um procedimento de decisão completo para consequência lógica... ou talvez não. Há um problema: quando a base de conhecimento inclui um símbolo de função, o conjunto de substituições de termos básicos possíveis é infinito! Por exemplo, se a base de conhecimento menciona o símbolo Pai, podem ser construídos infinitamente muitos termos aninhados, como Pai(Pai(Pai(João))). Nossos algoritmos proposicionais terão dificuldade com um conjunto de sentenças infinitamente grande.

Felizmente, existe um teorema famoso devido a Jacques Herbrand (1930) afirmando que, se uma sentença é consequência lógica da base de conhecimento de primeira ordem original, então existe uma prova envolvendo apenas um subconjunto finito da base de conhecimento proposicionalizada. Tendo em vista que qualquer subconjunto desse tipo tem uma profundidade máxima de aninhamento entre seus termos básicos, podemos encontrar o subconjunto gerando primeiro todas as instanciações com símbolos de constantes (Ricardo e João), depois todos os termos de profundidade 1 (Pai(Ricardo) e Pai(João)), depois todos os termos de profundidade 2, e assim por diante, até sermos capazes de construir uma prova proposicional da sentença que é consequência lógica.

Referências:

Livro: Inteligência Artificial
Autor: Peter Norvig