

Lógica Computacional

Operadores Booleanos

Negação, Conjunção e Disjunção

Tradução de Linguagem Natural

Fórmulas de 1ª ordem – Definição indutiva

Operadores Booleanos - Negação

- A linguagem de 1ª ordem utilizada até agora só permite exprimir **proposições simples**. Mas a língua natural permite expressões arbitrariamente complexas.
- Quando se pretende negar uma afirmação utiliza-se normalmente o *advérbio de negação* **não**.
- Gramaticalmente um advérbio é uma palavra que altera o significado de um verbo. Por exemplo, na expressão “voar depressa”, o advérbio “depressa” qualifica o forma de voar – não é um voo normal, nem lento, é um voo rápido.
- A negação qualifica uma acção (verbo), contrariando-a completamente. Se a acção é verdadeira depois de negada torna-se falsa e vice-versa.

Exemplo:

1. O Carlos conhece a Rita.
 2. O Carlos não conhece a Rita.
- As Linguagens de 1ª Ordem exprimir a negação através do símbolo de negação “ \neg ”.
 1. Conhece(carlos, rita).
 2. \neg Conhece(carlos, rita).

Operadores Booleanos - Negação

- Quando a negação é muito “comum” a linguagem natural contem verbos que já incluem a noção de negação na sua formação, normalmente através de prefixos como “in” ou “des”.

Exemplo:

1. O Carlos não conhece a Rita.
 2. O Carlos desconhece a Rita.
- Apesar de se poderem considerar diferentes graduações nestas afirmações (a 1ª será mais “forte” que a 2ª - para algumas pessoas em certos contextos), ambas se podem/devem exprimir através do símbolo de negação “ \neg ”.
1. \neg Conhece(carlos, rita).

Operadores Booleanos - Negação

- Podemos ainda comparar as frases abaixo e verificar que elas têm todas o mesmo significado embora com graduações ligeiramente diferentes.

Exemplo:

1. O Carlos conhece a Rita.
2. Não é verdade que o Carlos desconheça a Rita.
3. Não é verdade que o Carlos não conheça a Rita.

... o que conduz a que se atribua o mesmo valor de verdade a frases duplamente negadas.

1. Conhece(carlos, rita).
2. $\neg(\neg\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita})) \equiv \neg\neg\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita})$.
3. $\neg(\neg\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita})) \equiv \neg\neg\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita})$.

- Este encadeamento pode ser arbitrariamente complexo
 - Não é verdade que não seja verdade que o Carlos desconheça a Rita.
 - $\neg\neg\neg\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita})$.

Operadores Booleanos - Conjunção

- Outra forma de obter proposições mais complexas a partir de proposição elementares é através da sua **conjunção**.

Exemplo:

- O Carlos conhece a Rita e o Jorge conhece a Maria.
- Claramente esta frase inclui duas frases mais simples que podem ser agregadas através do símbolo de conjunção “ \wedge ”.
 - $\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita}) \wedge \text{Conhece}(\text{jorge}, \text{maria})$.
- A linguagem natural factoriza frequentemente várias acções em frases “simples”, apresentando-as aparente como uma só acção. Mas na sua tradução para uma linguagem de 1ª ordem, a conjunção é sempre entre duas proposições!

Exemplo:

- O Carlos conhece a Rita e a Maria.
- $\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita}) \wedge \text{Conhece}(\text{carlos}, \text{maria})$ mas não
- $\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita} \wedge \text{maria})$... nem
- $\text{Conhece}(\text{carlos}, \text{rita}, \text{maria})$

Operadores Booleanos - Conjunção

- A conjunção em língua natural permite ainda exprimir alguma informação adicional.

Exemplo:

- O Carlos encontrou-se com a Rita **e** foram jantar.
 - O Carlos encontrou-se com a Rita **mas** não foram jantar
- Tal como anteriormente as frases podem ser decompostas em frases mais simples através do símbolo de conjunção “ \wedge ” e da negação “ \neg ”.
 - Encontro(carlos, rita) \wedge jantar(carlos, rita) .
 - Encontro(carlos, rita) $\wedge \neg$ jantar(carlos, rita) .
- No primeiro caso existe alguma informação temporal implícita – o encontro ocorreu antes do jantar.
 - No segundo caso, a conjunção adversativa permite antecipar um elemento de surpresa (neste caso a negação de algo que seria esperado no contexto). Mas tal como a conjunção coordenativa, também a conjunção adversativa é traduzida através do operador de conjunção “ \wedge ”.

Operadores Booleanos - Disjunção

- Outra forma de obter proposições mais complexas a partir de proposição elementares é a através da sua **disjunção**.

Exemplo:

- O Carlos come a sopa ou a salada.
- A disjunção , expressa pela conjunção disjuntiva “ou”, é expressa na linguagem de 1ª ordem pelo símbolo “ \vee ”.
 - $\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) \vee \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada})$.
- Tal como na conjunção, a linguagem natural permite a factorização de frases simples, mas na sua tradução para uma linguagem de 1ª ordem, a disjunção é sempre entre duas proposições!

Exemplo:

- $\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) \vee \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada})$ mas não
- $\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa} \vee \text{salada})$... nem
- $\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}, \text{salada})$

Operadores Booleanos - Disjunção

- Um aspecto importante nesta tradução é distinguir entre a disjunção **inclusiva** e a **exclusiva**. No primeiro caso, ambas as frases disjuntas podem ser verdadeiras, enquanto que no segundo caso não se aceita a sua verdade simultânea.

Exemplo:

- O Carlos come a sopa ou a salada.
 - O Carlos vai ao cinema ou ao teatro.
- A diferença muitas vezes apenas se pode verificar pelo contexto – uma forma de as distinguir é acrescentar a frase “... , mas pode fazer ambos” (disjunção inclusiva) ou “... , mas **não** pode fazer ambos” (disjunção exclusiva)

Exemplo:

- O Carlos come a sopa ou a salada, ... mas pode comer ambas.
 - O Carlos vai ao cinema ou ao teatro, ... mas não pode ir aos dois.
- **Nota importante:** O símbolo de disjunção “ \vee ” é usado para a tradução da disjunção **inclusiva**. A disjunção **exclusiva** pode ser obtida através da disjunção, conjunção e negação (embora também se possa usar um conector booleano - que não usaremos).

Operadores Booleanos - Leis de de Morgan

- É muito normal juntarmos negação, conjunção e disjunção em frases complexas.

Exemplo:

1. O Carlos nem come a sopa nem a salada.
2. É falso que o Carlos coma a sopa ou a salada.

- Estas duas frases têm o mesmo significado mas a sua tradução é feita através de uma diferente combinação de operadores Booleanos.

Exemplo:

1. $\neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) \wedge \neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada})$.
2. $\neg (\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) \vee \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada}))$.

- De notar a **precedência** dos operadores Booleanos. Em rigor, para evitar ambiguidades deveríamos sempre aplicar os operadores a frases “parentisadas”, mas muitos parênteses podem ser evitados se se considerarem as habituais relações de precedência entre operadores (\neg , \wedge e \vee , por esta ordem)

1. $(\neg (\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}))) \wedge (\neg (\text{Come}(\text{carlos}, \text{salada})))$.
2. $\neg (\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) \vee \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada}))$.

Operadores Booleanos - Leis de de Morgan

- Uma composição semelhante de frases mais simples é exemplificada abaixo.

Exemplo:

1. O Carlos não come a sopa ou (não come) a salada.
2. É falso que o Carlos coma a sopa e a salada.

- Estas duas frases têm o mesmo significado mas a sua tradução é feita através de uma diferente combinação de operadores Booleanos.

Exemplo:

1. $\neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) \vee \neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada})$.
2. $\neg (\text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) \wedge \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada}))$.

Os exemplos anteriores correspondem às conhecidas leis de de Morgan:

- A negação da disjunção tem o mesmo significado da conjunção das negações.
- A negação da conjunção tem o mesmo significado da disjunção das negações.

Fórmulas de 1ª Ordem - Definição Indutiva

- Podemos agora apresentar uma definição formal do que são fórmulas de 1ª ordem (FPO). Elas podem ser arbitrariamente complexas, e podem ser caracterizadas através de uma definição indutiva, isto é, o conjunto de FPOs (fórmulas de 1ª ordem) constitui uma estrutura indutiva.
- Desta muitas propriedades das fórmulas, nomeadamente sintáticas, podem ser formalmente inferidas através de indução estrutural, apresentada anteriormente.
- Como com qualquer estrutura indutiva, a definição do conjunto de fórmulas de 1ª ordem, é composto por 3 partes:
 1. Uma cláusula de base, que especifica os elementos básicos do conjunto
 2. Uma ou mais cláusulas indutivas que explicam como se podem gerar elementos do conjunto a partir de elementos conhecidos.
 3. Uma cláusula de fecho, que indica que todos os elementos são obtidos a partir das cláusulas anteriores.

Fórmulas de 1ª Ordem - Definição Indutiva

1. Cláusula de Base

Os elementos mais simples das FPOs são as proposições simples, constituídas pelos predicados aplicados a constantes ou funções definidas numa assinatura Σ .

2. Cláusulas Indutivas

Se P e Q são FPOs, as seguintes fórmulas são ambas FPOs

- i. $(\neg P)$ é uma FPO
- ii. $(P \wedge Q)$ é uma FPO
- iii. $(P \vee Q)$ é uma FPO

3. Cláusula de Fecho

- Apenas as fórmulas obtidas pelas cláusulas anteriores são FPOs

Nota: A definição exige que todas as sub-fórmulas não simples sejam “parentisadas”. Na prática, alguns parênteses podem ser eliminados se se adoptarem as regras de precedência.

Fórmulas de 1ª Ordem - Definição Indutiva

Exemplo

A formula abaixo é uma FPO.

$$(\text{TemFome}(\text{carlos}) \wedge ((\neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa})) \vee (\neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada}))))) .$$

De facto, a fórmula é do tipo

$$(P \wedge ((\neg Q) \vee (\neg R))) ,$$

... em que

$P = \text{TemFome}(\text{carlos}) .$

$Q = \text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa}) .$

$R = \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada}) .$

... são proposições simples da linguagem com assinatura $\Sigma = \mathbf{SF} \cup \mathbf{SP}$, em que :

$\mathbf{SF} = \{\text{carlos}, \text{sopa}, \text{salada}\}$

$\mathbf{SP} = \{\text{TemFome}/1, \text{Come}/2\}$

Fórmulas de 1ª Ordem - Definição Indutiva

Exemplo: $F1. (P \wedge ((\neg Q) \vee (\neg R)))$

A fórmula $F1$ é uma FPO se forem FPOs as fórmulas $F2$ e $F3$ abaixo, (regra 2.ii: \wedge)

$F2. P$, e

$F3. ((\neg Q) \vee (\neg R))$

A fórmula $F2$ é uma proposição simples, logo é uma FPO (regra 1). A fórmula $F3$ é uma FPO se forem FPOs as formulas $F4$ e $F5$ abaixo (regra 2.iii: \vee) .

$F4. (\neg Q)$, e

$F5. (\neg R)$

As fórmula $F4$ e $F5$ são FPOs se forem FPOs $F6$ e $F7$ abaixo (regra 2.i: \neg) .

$F6. Q$, e

$F7. R$

Mas as fórmulas $F6$ e $F7$ são proposições simples, logo FPOs (regra 1).

Fica assim verificado que $F1$ é uma FPO para a assinatura $\Sigma = \mathbf{SF} \cup \mathbf{SP}$ indicada.

$\mathbf{SP} = \{\text{TemFome}/1, \text{Come}/2\}$ $\mathbf{SF} = \{\text{carlos}, \text{sopa}, \text{salada}\}$

Fórmulas de 1ª Ordem - Definição Indutiva

Exemplo: F1. $(P \wedge ((\neg Q) \vee (\neg R)))$

$(\text{TemFome}(\text{carlos}) \wedge ((\neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{sopa})) \vee (\neg \text{Come}(\text{carlos}, \text{salada}))))$.

A estrutura indutiva das FPOs é bem patente na sua representação em árvore (em informática as árvores são apresentadas “de cabeça para baixo”).

