Lambda Calculus

Recursão

Prof. Edson Alves

Faculdade UnB Gama

Sumário

Recursão

- A recursão diz respeito a definição de uma função em termos de si mesma
- Ao contrário de outras notações, o cálculo λ não permite esta definição diretamente, uma vez que os termos-λ são anônimos
- Uma maneira de contornar isso é utilizar uma expressão-λ que receba a si mesma como argumento
- Além disso, é preciso lidar com os dois aspectos fundamentais de uma função recursiva: o(s) caso(s) base(s) e a chamada recursiva

Estrutura básica da recursão

$$\gamma(x) = \begin{cases} g(x), & \text{se } P(x), \\ h(x, \gamma), & \text{caso contrário} \end{cases}$$

- $P(x)$ é um predicado que retorna verdadeiro se x é o valor que caracteriza um caso base
- Se $P(x)$ for verdadeiro, o valor de γ em x será dado pela função g
- Caso contrário, $\gamma(x)$ será dado por $h(x, \gamma)$, onde h é uma função que depende de x e de γ

Representação da estrutura básica da recursão no cálculo-λ

$$\Gamma \equiv (\lambda \gamma x.(Px)(gx)(h))$$

- Observe que na definição da função recursiva Γ é utilizado o termo-λ I_F
- Se o predicado (Px) retornar verdadeiro, o retorno será o primeiro parâmetro (gx), que corresponde ao valor de Γ para o caso base
- Se falso, será avaliada a função $h = h(x, \gamma)$
- Não há garantias, contudo, que $\Gamma \equiv \gamma$, pois no cálculo λ os termos são anônimos
- É preciso, portanto, definir um termo que garanta esta equivalência

Teorema do Ponto Fixo

Teorema do Ponto Fixo

Para qualquer termo-λ G existe um termo X tal que $GX \equiv X$.

Demonstração

Seja G um termo-λ qualquer. Defina $W \equiv (\lambda x.G(xx))$ e $X = WW$.
Deste modo,

$$X \equiv WW \equiv (\lambda x.G(xx))W \equiv G(WW) \equiv GX$$

Combinador Y

Proposição (Combinador Y)

O **combinador Y**

$$\mathbf{Y} \equiv \lambda f.(\lambda x.f(xx))(\lambda x.f(xx))$$

é um termo-λ tal que, para qualquer termo G,

$$\mathbf{Y}G \equiv G(\mathbf{Y}G)$$

Demonstração

Seja G um termo-λ qualquer. Daí

$$\begin{aligned}\mathbf{Y}G &\equiv (\lambda f.(\lambda x.f(xx))(\lambda x.f(xx)))G \\ &\equiv (\lambda x.G(xx))(\lambda x.G(xx)) \equiv G((\lambda x.G(xx))(\lambda x.G(xx))) \\ &\equiv G(\lambda f.(\lambda x.f(xx))(\lambda x.f(xx)))G) \equiv G(\mathbf{Y}G)\end{aligned}$$

Observações sobre o combinador $\mathbf{Y}$

- Veja que, para qualquer termo-λ G, $\mathbf{Y}G$ é um ponto fixo de G
- Esta propriedade é o que faltava para a definição completa da recursão, pois ao aplicar $(\mathbf{Y}G)$ ao parâmetro x da recursão, o resultado é

$$(\mathbf{Y}G)x \equiv G(\mathbf{Y}G)x,$$

  ou seja, o termo G é aplicado aos parâmetros $\mathbf{Y}G$ e x, o que permite invocar G novamente quantas vezes forem necessárias
- Assim, para definir uma função recursiva $\mathbf{Y}\Gamma$ no cálculo-λ, basta determinar o predicado P e as funções g e h que compõem a função Γ

Exemplo de recursão: fatorial

$$!n = \begin{cases} 1, & \text{se } n = 0, \\ n \times !(n-1), & \text{caso contrário} \end{cases}$$

- A notação está "invertida" para ficar consistente com a notação prefixada do cálculo lambda
- Na notação de recursão do cálculo lambda, $P \equiv Z, g \equiv 1$ e $h \equiv \times x(f(Px))$, onde $\times ab$ é a multiplicação dos naturais a e b e Pn é o antecessor do natural n.
- Deste modo, $! = \mathbf{Y}\Gamma$, onde

$$\Gamma \equiv \lambda fx.(Zx)1(\times x(f(Px)))$$

Exemplo de aplicação do fatorial

$$
\begin{aligned}
!3 \equiv (\mathbf{Y}\Gamma)3 &\equiv \Gamma(\mathbf{Y}\Gamma)3 \\
&\equiv (\lambda fx.(Zx)1(\times x(f(Px))))(\mathbf{Y}\Gamma)3 \\
&\equiv (Z3)1(\times 3((\mathbf{Y}\Gamma)(P3))) \\
&\equiv F1(\times 3((\mathbf{Y}\Gamma)(P3))) \\
&\equiv \times 3((\mathbf{Y}\Gamma)2)) \equiv \times 3(\Gamma(\mathbf{Y}\Gamma)2)) \\
&\equiv \times 3((Z2)1(\times 2((\mathbf{Y}\Gamma)(P2)))) \\
&\equiv \times 3(\times 2((\mathbf{Y}\Gamma)1)) \equiv \times 3(\times 2(\Gamma(\mathbf{Y}\Gamma)1)) \\
&\equiv \times 3(\times 2((Z1)1(\times 1((\mathbf{Y}\Gamma)(P1))) \\
&\equiv \times 3(\times 2(\times 1((\mathbf{Y}\Gamma)0))) \\
&\equiv \times 3(\times 2(\times 1((Z0)1(\times 0((\mathbf{Y}\Gamma)(P0)))))) \\
&\equiv \times 3(\times 2(\times 1(1))) \equiv \times 3(\times 2(1)) \equiv \times 3(2) \equiv 6
\end{aligned}
$$

Referências

1. **BARENDREGT**, Henk; **BARENDSEN**, Erik. *Introduction to Lambda Calculus*, March 2000.
2. **ROJAS**, Raúl. *A Tutorial Introduction to the Lambda Calculus*, FU Berlin, WS-97/98.
3. Wikipédia. Combinatory logic, acesso em 07/01/2020.
4. Wikipédia. Lambda calculus, acesso em 03/01/2020.