

Cálculo de Programas

2.º ano

Lic. Ciências da Computação e Mestrado Integrado em Engenharia Informática
UNIVERSIDADE DO MINHO

2018/19 - Ficha nr.º 4

1. O combinador

$\text{const} :: a \rightarrow b \rightarrow a$
 $\text{const } a \ b = a$

está disponível em Haskell para construir funções constantes, sendo habitual designarmos $\text{const } k$ por \underline{k} , qualquer que seja k . Demonstre a igualdade

$$\underline{(b, a)} = \langle \underline{b}, \underline{a} \rangle \quad (\text{F1})$$

a partir da propriedade universal do produto e das propriedades das funções constantes que constam do formulário.

2. Considere a função $\text{iso} = \langle ! + !, [id, id] \rangle$.

(a) Identifique o isomorfismo que ela testemunha, desenhando-a sob a forma de um diagrama de tipos.

(b) Derive a partir desse diagrama a propriedade (dita *grátis*) de iso ,

$$(id \times f) \cdot \text{iso} = \text{iso} \cdot (f + f) \quad (\text{F2})$$

(c) Confirme, por cálculo analítico, essa propriedade.

(d) Derive uma definição em Haskell *pointwise* de iso .

3. Deduza o tipo mais geral da função $\alpha = (id + \pi_1) \cdot i_2 \cdot \pi_2$ e infira a respectiva propriedade *grátis* (*natural*) através de um diagrama.

4. Identifique, apoiando a sua resolução num diagrama, qual é a definição da função polimórfica α cuja propriedade natural (“grátis”) é

$$(f + h) \cdot \alpha = \alpha \cdot (f + g \times h)$$

5. Para o caso de um *isomorfismo* f , têm-se as equivalências:

$$f \cdot g = h \equiv g = f^\circ \cdot h \quad (\text{F3})$$

$$g \cdot f = h \equiv g = h \cdot f^\circ \quad (\text{F4})$$

Recorra a essas propriedades para mostrar que a igualdade

$$h \cdot \text{distr} \cdot (g \times (id + f)) = k$$

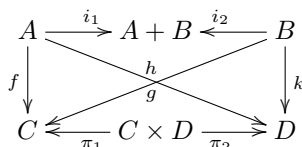
é equivalente à igualdade

$$h \cdot (g \times id + g \times f) = k \cdot \text{undistr}$$

(**Sugestão:** não ignore a propriedade natural (i.e. *grátis*) do isomorfismo distr .)

6. Seja dada uma função ∇ da qual só sabe duas propriedades: $\nabla \cdot i_1 = id$ e $\nabla \cdot i_2 = id$. Mostre que, necessariamente, ∇ satisfaz também a propriedade natural $f \cdot \nabla = \nabla \cdot (f + f)$.
7. A *lei da troca* (identifique-a no formulário) permite-nos exprimir determinadas funções sob duas formas alternativas, conforme desenhado no respectivo diagrama:

$$\langle \langle f, g \rangle, \langle h, k \rangle \rangle = \langle [f, h], [g, k] \rangle$$



Demonstre esta lei recorrendo às propriedades (e.g. universais) dos produtos e dos coprodutos.

8. Use a lei da troca para exprimir o isomorfismo $undistl = [i_1 \times id, i_2 \times id]$ sob a forma de um ‘split’ de alternativas.
9. No Cálculo de Programas, as definições condicionais do tipo $h\ x = \text{if } p\ x\ \text{then } f\ x\ \text{else } g\ x$ são escritas usando o combinador ternário $p \rightarrow f, g$ conhecido pelo nome de *condicional de McCarthy*, cuja definição

$$p \rightarrow f, g = [f, g] \cdot p?$$

vem no formulário. Baseando-se em leis deste combinador que constam também do formulário, demonstre:

$$(p \rightarrow f, g) \cdot h = (p \cdot h) \rightarrow (f \cdot h), (g \cdot h)$$

10. Sabendo que as igualdades

$$p \rightarrow k, k = k \tag{F5}$$

$$(p? + p?) \cdot p? = (i_1 + i_2) \cdot p? \tag{F6}$$

se verificam, demonstre as seguintes propriedades do mesmo combinador:

$$\langle \langle p \rightarrow f, h \rangle, \langle p \rightarrow g, i \rangle \rangle = p \rightarrow \langle f, g \rangle, \langle h, i \rangle \tag{F7}$$

$$\langle f, \langle p \rightarrow g, h \rangle \rangle = p \rightarrow \langle f, g \rangle, \langle f, h \rangle \tag{F8}$$

$$p \rightarrow \langle p \rightarrow a, b \rangle, \langle p \rightarrow c, d \rangle = p \rightarrow a, d \tag{F9}$$

11. Mostre que a função *for* $b\ i$, onde

$$\text{for } b\ i\ 0 = i$$

$$\text{for } b\ i\ (n + 1) = b\ (\text{for } b\ i\ n)$$

é solução da equação seguinte, em x

$$x \cdot \text{in} = [i, b] \cdot (id + x) \tag{F10}$$

onde $\text{in} = [0, \text{succ}]$, $\text{succ } n = n + 1$.