

## Домашнее задание №7: «типовая система Хиндли-Милнера»

1. *О выразительной силе НМ.* Заметим, что список — это «параметризованные» числа в аксиоматике Пеано. Число — это длина списка, а к каждому штриху мы присоединяем какое-то значение. Операции добавления и удаления элемента из списка — это операции прибавления и вычитания единицы к числу.

Рассмотрим тип «бинарного списка» (расширение Окамля):

```
type 'a bin_list = Nil | Zero of (('a*'a) bin_list) |
  One of 'a * (('a*'a) bin_list);;
```

и операцию добавления элемента к списку:

```
let rec add elem lst = match lst with
  Nil -> One (elem, Nil)
  | Zero tl -> One (elem, tl)
  | One (hd, tl) -> Zero (add (elem, hd) tl)
```

- (a) Какой тип имеет add (обратите внимание на ключевое слово rec: для точного указания соответствующего лямбда-выражения и вывода типа необходимо использовать Y-комбинатор)? Считайте, что семейство типов bin\_list 'a предопределено и обозначается как  $\tau_\alpha$ . Выразим ли этот тип в системе Хиндли-Милнера?
  - (b) Реализуйте предложенный тип и функцию add на Хаскеле (используйте опцию RankNTypes). Также реализуйте функцию для удаления элемента списка (головы).
  - (c) Предложите функцию для эффективного соединения двух списков (источник для вдохновения — сложение двух чисел в столбик).
  - (d) Предложите функцию для эффективного выделения  $n$ -го элемента из списка.
2. На занятии мы рассмотрели функцию strange\_pair  $x = (x\ 1, x\ "a")$ . Покажите, что данную функцию невозможно типизировать в типовой системе Хиндли-Милнера. Указания: (a) ограничение мономорфизма отношения к делу не имеет; (б) ограничение на правило введения квантора всеобщности может оказаться существенным.
  3. Покажем, что алгоритм  $W$  действительно находит корректный тип для лямбда-выражения (доказательство, что он находит наиболее общий тип, мы оставим в стороне). Для этого докажем по индукции, что  $W(\Gamma, X)$  действительно находит такие тип  $\tau$  и подстановку  $S$ , что  $S\Gamma \vdash X : \tau$ :
    - (a) покажите базу индукции:  $W(\Gamma, x)$ ;

$$\frac{\Gamma, x : \forall \alpha_1 \dots \alpha_n. \tau : x \vdash \forall \alpha_1 \dots \alpha_n. \tau}{\Gamma \vdash x : \forall \beta_1 \dots \beta_n. \tau}$$

(b) покажите случай аппликации:  $W(\Gamma, P Q)$ ;

$$\begin{array}{c}
 \frac{}{W(\Gamma, P) = (\tau_p, S_1)} \\
 \frac{}{S_1 \Gamma \vdash P : \tau_p} \\
 \frac{}{S_{21} \Gamma \vdash P : S_2 \tau_p} \\
 \frac{}{S_{321} \Gamma \vdash P : S_3(S_2 \tau_p)} \quad \frac{}{W(S_1 \Gamma, Q) = (\tau_q, S_2)} \\
 \frac{}{S_{321} \Gamma \vdash P : S_3(\tau_q \rightarrow \gamma)} \quad \frac{}{S_{21} \Gamma \vdash Q : \tau_q} \\
 \frac{}{S_{321} \Gamma \vdash P : (S_3 \tau_q) \rightarrow S_3 \gamma} \quad \frac{}{S_{321} \Gamma \vdash Q : S_3 \tau_q} \\
 \hline
 (S_3 \circ S_2 \circ S_1) \Gamma \vdash P Q : S_3 \gamma
 \end{array}$$

(c) покажите случай лямбда-абстракции:  $W(\Gamma, \lambda x. P)$ ;

$$\begin{array}{c}
 \frac{}{W(\Gamma \cup \{x : \tau_x\}, P) = (\tau_p, S_1)} \\
 \frac{}{S_1(\Gamma \cup \{x : \tau_x\}) \vdash P : S_1 \tau_p} \\
 \frac{}{S_1 \Gamma, x : S_1 \tau_x \vdash P : S_1 \tau_p} \\
 \frac{}{S_1 \Gamma \vdash \lambda x. P : S_1 \tau_x \rightarrow S_1 \tau_p} \\
 \frac{}{S_1 \Gamma \vdash \lambda x. P : S_1(\tau_x \rightarrow \tau_p)}
 \end{array}$$

(d) покажите случай let-выражения:  $W(\Gamma, \text{let } x = P \text{ in } Q)$ .

$$\begin{array}{c}
 \frac{}{W(S_1 \Gamma \cup \{x : \forall \{\alpha_i\}. \tau_p\}, Q) = (\tau_q, S_2), \{\alpha_i\} \in FV(\tau_p)} \\
 \frac{}{S_2(S_1 \Gamma \cup \{x : \forall \{\alpha_i\}. \tau_p\}) \vdash Q : \tau_q, \{\alpha_i\} \in FV(\tau_p)} \\
 \dots \\
 \frac{}{S_2(S_1 \Gamma \cup \{x : S_1 \tau_p\}) \vdash Q : \tau_q} \\
 \frac{}{S_{21} \Gamma, x : S_{21} \tau_p \vdash Q : \tau_q} \\
 \frac{}{S_{21} \Gamma \vdash \text{let } x = P \text{ in } Q : \tau_q}
 \end{array}$$

4. Покажите, что в Хаскеле выражается  $Y : \forall \alpha. (\alpha \rightarrow \alpha) \rightarrow \alpha$  и правило исключённого третьего  $E : \alpha \vee \neg \alpha$ .

```
magic :: a
magic = magic
```

```
Y :: (a -> a) -> a
Y = magic
```

```
E :: Either a (a -> Void)
E = magic
```

5. Возможно ли в C++ построить выражения с типами ранга два и выше (включая конструкции с темплейтами)? Приведите пример, если да.