Уменьшение цены абстракции при типобезопасном встраивании реляционнного языка программирования в OCaml

Дмитрий Косарев

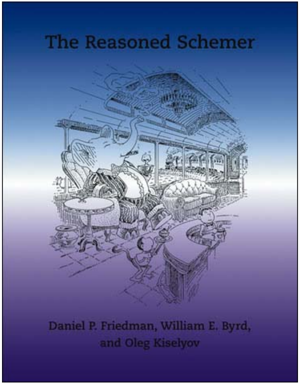
Санкт-Петербургский Государтсвенный Университет
JetBrains Research

Языки программирования и компиляторы
4 апреля, 2016
Ростов-на-Дону

Реляционное программирование на miniKanren

От программ-функций к программам-отношениям:

$$f : X \to Y \rightsquigarrow f^o \subseteq X \times Y$$



- Изначально DSL для Scheme/Racket с довольно минималистичной реализацией
- Семейство языков (μKanren, α-Kanren, cKanren, и т.д.)
- Встраивается как DSL в широкий набор языков (включая OCaml, Haskell, Scala, и т.д.)
- Daniel P. Friedman, William Byrd and Oleg Kiselyov. The Reasoned Schemer, The MIT Press, Cambridge, MA, 2005

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

$\text{append} : \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list}$

$\text{append}^o \subseteq \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list}$

```
let rec append xs ys =
  match xs with
  | []       → ys
  | h :: tl →
      h :: (append tl ys)
```

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

$\text{append} : \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list}$

```
let rec append xs ys =
  match xs with
  | []       → ys
  | h :: tl →
      h :: (append tl ys)
```

$\text{append}^o \subseteq \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list}$

```
let rec appendᵒ xs ys xys =
```

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

$\text{append}: \alpha\ \text{list} \to \alpha\ \text{list} \to \alpha\ \text{list}$

```
let rec append xs ys =
  match xs with
  | []      → ys
  | h :: tl →
      h :: (append tl ys)
```

$\text{append}^o \subseteq \alpha\ \text{list} \times \alpha\ \text{list} \times \alpha\ \text{list}$

```
let rec appendᵒ xs ys xys =
  ((xs ≡ nil) &&& (xys ≡ ys))
```

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

$\text{append}: \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list}$

```
let rec append xs ys =
  match xs with
   | []       → ys
   | h :: tl →
       h :: (append tl ys)
```

$\text{append}^o \subseteq \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list}$

```
let rec appendᵒ xs ys xys =
  ((xs ≡ nil) &&& (xys ≡ ys))
  |||
  (fresh (h t tys)
```

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

append: α list $\to \alpha$ list $\to \alpha$ list

```
let rec append xs ys =
  match xs with
   | []        → ys
   | h :: tl →
       h :: (append tl ys)
```

$\text{append}^o \subseteq \alpha$ list $\times\, \alpha$ list $\times\, \alpha$ list

```
let rec appendᵒ xs ys xys =
  ((xs ≡ nil) &&& (xys ≡ ys))
  |||
  (fresh (h t tys)
     (xs  ≡ h % t)
```

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

$\text{append} : \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list} \to \alpha \text{ list}$

```
let rec append xs ys =
  match xs with
  | []       → ys
  | h :: tl →
      h :: (append tl ys)
```

$\text{append}^o \subseteq \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list} \times \alpha \text{ list}$

```
let rec appendᵒ xs ys xys =
  ((xs ≡ nil) &&& (xys ≡ ys))
  |||
  (fresh (h t tys)
     (xs  ≡ h % t)
     (xys ≡ h % tys)
```

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

$\text{append}: \alpha \text{ list } \to \alpha \text{ list } \to \alpha \text{ list}$

```
let rec append xs ys =
  match xs with
  | []       → ys
  | h :: tl →
      h :: (append tl ys)
```

$\text{append}^o \subseteq \alpha \text{ list } \times \alpha \text{ list } \times \alpha \text{ list}$

```
let rec appendᵒ xs ys xys =
  ((xs ≡ nil) &&& (xys ≡ ys))
  |||
  (fresh (h t tys)
     (xs  ≡ h % t)
     (xys ≡ h % tys)
     (appendᵒ t ys tys) )
```

Пример: реляционное слияние списков (OCaml/OCanren/miniKanren)

$\text{append} : \alpha \text{ list } \to \alpha \text{ list } \to \alpha \text{ list}$

```
let rec append xs ys =
  match xs with
  | []      → ys
  | h :: tl →
      h :: (append tl ys)
```

$\text{append}^o \subseteq \alpha \text{ list } \times \alpha \text{ list } \times \alpha \text{ list}$

```
let rec appendᵒ xs ys xys =
  ((xs ≡ nil) &&& (xys ≡ ys))
  |||
  (fresh (h t tys)
     (xs  ≡ h % t)
     (xys ≡ h % tys)
     (appendᵒ t ys tys) )
```

В оригинальной реализации:

```
(define (appendᵒ xs ys xys)
   (conde
      [(≡ '() xs) (≡ ys xys)]
      [(fresh (h t tys)
         (≡ `(,h . ,t) xs)
         (≡ `(,h . ,tys) xys)
         (appendᵒ t ys tys))]))
```

Набросок минимальной реализации

Jason Hemann, Daniel P. Friedman. μKanren: A Minimal Functional Core for Relational Programming // Scheme'13:

Набросок минимальной реализации

Jason Hemann, Daniel P. Friedman. μKanren: A Minimal Functional Core for Relational Programming // Scheme'13:

Логические переменные	$X = \{x_1, x_2, \dots\}$
Символы (конструкторы)	$S = \{s_1, s_2, \dots\}$
Термы	$T = X \cup \{s\ (t_1, \dots, t_k) \mid s \in S,\ t_i \in T\}$
Подстановки	$\Sigma = T^X$

Набросок минимальной реализации

Jason Hemann, Daniel P. Friedman. μKanren: A Minimal Functional Core for Relational Programming // Scheme'13:

Логические переменные	$X = \{x_1, x_2, \dots\}$
Символы (конструкторы)	$S = \{s_1, s_2, \dots\}$
Термы	$T = X \cup \{s\ (t_1, \dots, t_k) \mid s \in S,\ t_i \in T\}$
Подстановки	$\Sigma = T^X$
Унификация	$(\equiv) : \Sigma \to T \to T \to \Sigma_\perp$

Набросок минимальной реализации

Jason Hemann, Daniel P. Friedman. μKanren: A Minimal Functional Core for Relational Programming // Scheme'13:

Логические переменные	$X = \{x_1, x_2, \dots\}$
Символы (конструкторы)	$S = \{s_1, s_2, \dots\}$
Термы	$T = X \cup \{s\ (t_1, \dots, t_k) \mid s \in S,\ t_i \in T\}$
Подстановки	$\Sigma = T^X$
Унификация	$(\equiv) : \Sigma \to T \to T \to \Sigma_\perp$
State (подстановка + как создавать новые логические переменные)	σ
Goal (функция из состояния в ленивый список состояний)	$g : \sigma \to \sigma\ \text{stream}$
Конъюнкция $g \wedge g$	“bind”
Дизъюнкция $g \vee g$	“mplus”
Refinement: извлечение посчитанных ответов	$\text{refine} : \sigma \to X \to T$

Набросок минимальной реализации

Jason Hemann, Daniel P. Friedman. μKanren: A Minimal Functional Core for Relational Programming // Scheme'13:

Логические переменные	$X = \{x_1, x_2, \ldots\}$
Символы (конструкторы)	$S = \{s_1, s_2, \ldots\}$
Термы	$T = X \cup \{s\ (t_1, \ldots, t_k) \mid s \in S,\ t_i \in T\}$
Подстановки	$\Sigma = T^X$
Унификация	$(\equiv) : \Sigma \to T \to T \to \Sigma_\perp$
State (подстановка + как создавать новые логические переменные)	σ
Goal (функция из состояния в ленивый список состояний)	$g : \sigma \to \sigma\ \text{stream}$
Конъюнкция $g \wedge g$	"bind"
Дизъюнкция $g \vee g$	"mplus"
Refinement: извлечение посчитанных ответов	refine $: \sigma \to X \to T$

Полиморфная унификация

Работает для всех логических типов $\alpha\,logic$ (он же α^o):

$$\equiv\ : \Sigma \to \alpha^o \to \alpha^o \to \Sigma_\perp$$

Полиморфная унификация

Работает для всех логических типов $\alpha\, logic$ (он же α^o):

$$\equiv : \Sigma \to \alpha^o \to \alpha^o \to \Sigma_\perp$$

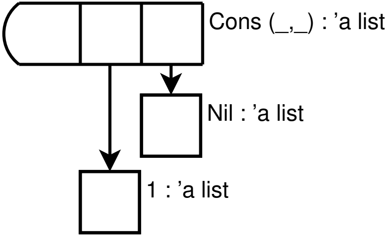
Реализована как сравнение представлений значений в памяти.

Полиморфная унификация

Работает для всех логических типов $\alpha\,logic$ (он же α^o):

$$\equiv\ :\ \Sigma \to \alpha^o \to \alpha^o \to \Sigma_\perp$$

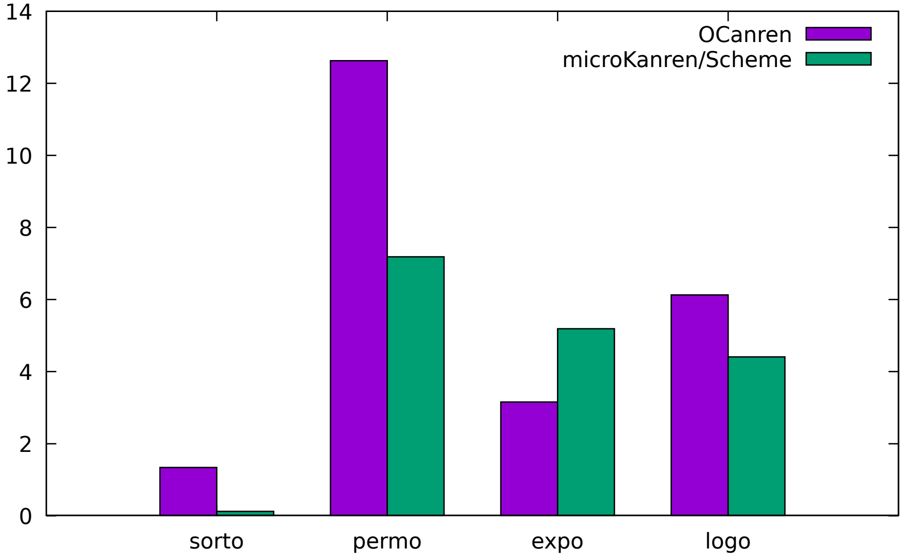
Реализована как сравнение представлений значений в памяти.



Промежуточные результаты

Были представлены на ML Workshop 2016 (совмещённым с ICFP 2016)

- Типобезопасное встраивание miniKanren в OCaml
- Полиморфная унификация
- Регулярный подход для описания типов



14
12
10
8
6
4
2
0
OCanren
microKanren/Scheme
sorto
permo
expo
logo

Дальнейшие задачи

- Найти причину замедления
- Ускорить
- Подход должен остаться типобезопасным

last

```
type 'a list = Nil | Cons of 'a * 'a list

let (_: int list) = Cons (1, Nil)
```