

Переоснащение неявных модулей для языка 1ML

Трилис Алексей Андреевич

научный руководитель: к.ф.-м.н. Д.А. Березун

НИУ ВШЭ — Санкт-Петербург

30 апреля 2021 г.

- Ad hoc полиморфизм — свойство языка, позволяющее функциям иметь различную семантику в зависимости от типов аргументов
- Часто достигается перегрузкой, но в языках с мощным выводом типов нужны более сложные методы
- В семействе языков ML ad hoc полиморфизм до сих пор не поддерживается
- + для `int`, +. для `float`
`print_int`, `print_float`, `print_string`, ...

Обзор литературы. Классы типов

- Впервые в Haskell¹, затем в Agda, Rust, ...
- Требуется каноничность — не более одного экземпляра для каждого типа
- Каноничность невозможна в модульном языке, которым является ML
- Поэтому попытка применить классы типов в ML² вводит ряд серьёзных ограничений

¹Wadler и Blott, «How to Make Ad-Hoc Polymorphism Less Ad Hoc», 1989.

²Dreyer и др., «Modular Type Classes», 2007.

Обзор литературы. Неявные параметры

- Впервые в Scala³
- Не нужна каноничность
- Предложены для OCaml⁴, есть прототип, но в основной язык интегрировать пока не получилось
- Требуется унификация на модульном уровне, в прототипе недостаточно сильная

³Oliveira, Moors и Odersky, «Type Classes as Objects and Implicits», 2010.

⁴White, Bour и Yallop, «Modular implicits», 2015. 

Обзор литературы. Неявные модули

```
1 module type Show = sig (* описание сигнатуры модулей *)
2   type t
3   val show : t -> string
4 end
5 (* неявный модуль *)
6 implicit module Show_int = struct
7   type t = int
8   let show x = string_of_int x
9 end
10 (* неявный функтор *)
11 implicit module Show_list {S : Show} = struct
12   type t = S.t list
13   let show x = string_of_list S.show x
14 end
15 (* полиморфная функция *)
16 let show {S : Show} x = S.show x
17
18 show 5 (* show {Show_int} 5 *)
19 show [1;2;3] (* show {Show_list {Show_int}} [1;2;3] *)
```

- В ML исторически язык разделён на основной язык и более мощный и избыточный модульный язык
- Это создаёт проблему: интеграция этих слоёв затруднена
- Экспериментальный диалект 1ML⁵ решает эту проблему: в нём нет существенного различия между основным языком и модулями
- 1ML выбран для этой работы из-за относительной простоты и уникального подхода к модулям

⁵Rossberg, «1ML – Core and Modules United (F-ing First-Class Modules)», 2015.

Цель: Разработать поддержку неявных модулей для языка 1ML, улучшив полноту аналогичного решения для OCaml и дополнив поддержку неявных функторов

Задачи:

- Реализация неявных модулей, повторяющих функциональность решения для OCaml
- Разработка алгоритма, позволяющего полно и эффективно осуществлять вставку неявных модулей
- Дополнение поддержки неявных функторов
- Сравнение с существующим решением для OCaml

Общая схема. Фаза неявных модулей

- На месте, где должен стоять модуль, подставим неявную переменную
- Зная, какой нужен тип, нужно найти модуль с таким типом
- Отложим определение этого модуля, будем обрабатывать несколько неявных переменных за раз

Общая схема. Поиск модулей

- Представим текущее состояние поиска как набор ограничений на тип
- Переберём все доступные модули, если подходит под ограничения — подставим
- Если это функтор, то запустимся рекурсивно с новыми ограничениями

- В какой момент разрешаем накопившиеся переменные?
 - Дойдя до объявления верхнего уровня
 - Но в теории можно в любой момент
- Проверка завершаемости
 - В рекурсии проверяем, что хотя бы одно ограничение уменьшилось, а остальные не стали больше
- Локальные неявные модули
 - В момент разрешения модули могут выйти из контекста
 - Храним дерево из неявных модулей и побочной информации

Порядок разрешения. Мотивация

- В решении для OCaml неявные переменные разрешаются в некотором фиксированном порядке
- Это уменьшает полноту решения, например, нельзя реализовать сложение `int` с `float`
- Будем запускать разрешение неявных переменных несколько раз, с появлением новой информации

Порядок разрешения. Алгоритм

- Обработываем неявные переменные в следующем порядке:
 - 1 Независимые от других ещё не разрешённых
 - 2 Не обработанные ранее
 - 3 Те, с последней обработки которых была получена новая информация
- Сложность: $\mathcal{O}(N + K)$ запусков поиска, где K — сумма числа типовых переменных по неявным переменным
- Несколько эвристик

Неявные функторы

Допустим, есть `Show_list1` и `Show_list2` с одинаковой сигнатурой, нужно выбрать из них явно

```
1 show {Show_list1 {Show_pair {Show_int} {Show_bool}}}  
2   [(1, true); (2, false)]  
3  
4 (* Слишком длинно. В OCaml можно только так *)  
5  
6 show {Show_list1 [_]} [(1, true); (2, false)]  
7  
8 (* В IML можно поддержать такое *)
```






Это достигнуто за счёт того, что в IML различие между функциями и функторами существенно меньше

- Тест — две аналогичные программы на OCaml и на 1ML
- Ни на одном из языков нет значительной кодовой базы, поэтому тесты написаны самостоятельно
- Проверяем, корректна ли проверка типов для теста в каждом из языков
- Сейчас около 20 тестов, будет расширяться

- Реализованы неявные модули как расширение компилятора языка 1ML
- Решение работает на тестах, на которых работает решение для OCaml
- Также работает на тестах, которые в OCaml не поддерживаются
 - **Порядок разрешения**
Идея алгоритма может быть использована в OCaml
 - **Неявные функторы**
Результат достигнут из-за особенностей 1ML

Репозиторий: github.com/trilis/1ml

ССЫЛКИ

-  Dreyer, Derek и др. «Modular Type Classes». B: 2007.
-  Oliveira, Bruno C.d.S., Adriaan Moors и Martin Odersky. «Type Classes as Objects and Implicits». B: 2010.
-  Rossberg, Andreas. «1ML – Core and Modules United (F-ing First-Class Modules)». B: 2015.
-  Wadler, P. и S. Blott. «How to Make Ad-Hoc Polymorphism Less Ad Hoc». B: 1989.
-  White, Leo, Frédéric Bour и Jeremy Yallop. «Modular implicits». B: 2015.

Источники тестов

- Набор тестов для решения на OCaml и примеры из статей
- Тесты на порядок разрешения и на неявные функторы
- Тесты, аналогичные коду на других языках с неявными параметрами (Scala)
- Реализация стандартных функциональных структур (например, монады)
- Тесты, написанные в логической парадигме

Детали алгоритма. Примеры

Пример модуля, в присутствии которого поиск не будет завершаться:

```
1 implicit module Show_it {S : Show} = struct
2   type t = S.t
3   let show = S.show
4 end
```

Пример локального неявного модуля:

```
1 let f = show 5 ^ " " ^
2   (let implicit module Show_float = struct
3     type t = float
4     let show x = string_of_float x
5   end in show 3.14)
```

Порядок разрешения. Пример

```

1 module type Num = sig
2   type t and u and res
3   val ( + ) : t -> u -> res
4 end;;
5
6 let ( + ) {N : Num} = N.( + );;
7
8 implicit module Float_Float = struct
9   type t = float and u = float and res = float
10  let ( + ) = ( +. )
11 end;;
12 implicit module Int_Float = struct
13   type t = int and u = float and res = float
14   let (+) l r = (float_of_int l) +. r
15 end;;
16
17 (* Int_Int и Float_Int пропущены для краткости *)
18
19 print_float (1 + 1.1 + 2.5);; (* неоднозначность! *)

```

Порядок разрешения. Эвристики

- ① Независимые от других ещё не разрешённых
 - ② Не обработанные ранее
 - ③ Те, с последней обработки которых была получена новая информация
- В (2) обработать сначала неявные переменные с меньшим числом типовых переменных
 - В (3) обработать сначала те, про которых стало известно больше новой информации

Невозможность каноничности в OCaml

```
1 module F (X : Show) = struct
2   implicit module S = X
3 end
4
5 implicit module Show_int = struct
6   type t = int
7   let show = string_of_int
8 end
9
10 module M = struct
11   type t = int
12   let show _ = "An int"
13 end
14
15 module N = F(M)
```

Ограничения на модульные классы типов

- Неявные модули могут быть объявлены только на верхнем уровне
- Все модули на верхнем уровне должны быть явно типизированы
- На верхнем уровне могут находиться только модули
- Все неявные модули должны определять тип t , по которому будет проходить унификация