Разработка системы условных эффектов с реализацией на языке программирования Kotlin

Саввинов Дмитрий Кимович

научный руководитель: руководитель команды компилятора языка Kotlin, С.Е. Ерохин

СПб АУ НОЦНТ РАН

4 июня 2017 г.

Предметная область. Smartcasts

Работает:

```
1 fun foo(x: Any) {
2   if (x is String) {
3     println(x.length)
4   }
5 }
```

Не работает:

```
1 fun isString(x: Any) =
2   x is String
3
4 fun foo(x: Any) {
5   if (isString(x)) {
6     x.length
7   }
8 }
```

Компилятор не знает, что: `isString(x) == true` $\Leftrightarrow$ `x is String`

Предметная область. Smartcasts

Не работает:

```
1 fun test(x: Any) {
2     assert(x is String)
3     x.length
4 }
```

Компилятор не знает, что:
`assert(c)` завершился
⇔
`c == true`

Не работает:

```
1 fun test(list: List<Any>)
2   val ss = list.filter {
3       x -> x is String
4   }
5   ss[0].length
6 }
```

Компилятор не знает две вещи:

- Лямбда возвращает `true` только на `String`
- `filter` оставляет только те элементы, на которых лямбда вернула `true`

Предметная область. Инициализация переменных.

Работает:

```
1 val x: Int
2 x = 42
3 println(x)
```

Не работает:

```
1 val x: Int
2 // Reassignment
3 run({ x = 42 })
4
5 // Not initialized
6 println(x)
```

Компилятор знает, что лямбда пишет в x, но не знает, что она выполнится **ровно раз**

Аналогичным образом в Kotlin реализованы `synchronized`, `try-with-resources`, `async-await`, и т.д.

Постановка цели и задачи

Цель: разработка системы, выполняющей анализ кода на языке программирования Kotlin посредством использования информации о поведении вызываемых функций

Требования к системе:

- Должна решать как минимум вышеописанные проблемы
- Должна быть поддерживаемой
- Должна быть расширяемой

Задачи:

- Проанализировать существующие решения
- Разработать систему
- Реализовать разработанную систему в компиляторе Kotlin
- Провести анализ полученного решения, выявить его достоинства и недостатки

Существующие решения и аналоги

1. Системы эффектов
   - «An Object-Oriented Effects System». Greenhouse, Boyland. 1999
   - JSR-308 (Checker Framework)
   - Eff-language
2. Контракты
   - Контракты в C#
   - Eiffel
   - Аннотация `@Contract` в IDEA
3. Языки спецификации
   - The Z Notation
   - ANSI C Specification Language
   - Larch

Решение. Основные понятия

Definition

Эффект вычисления – некоторая информация о состоянии окружения, полученная в результате исполнения данного вычисления

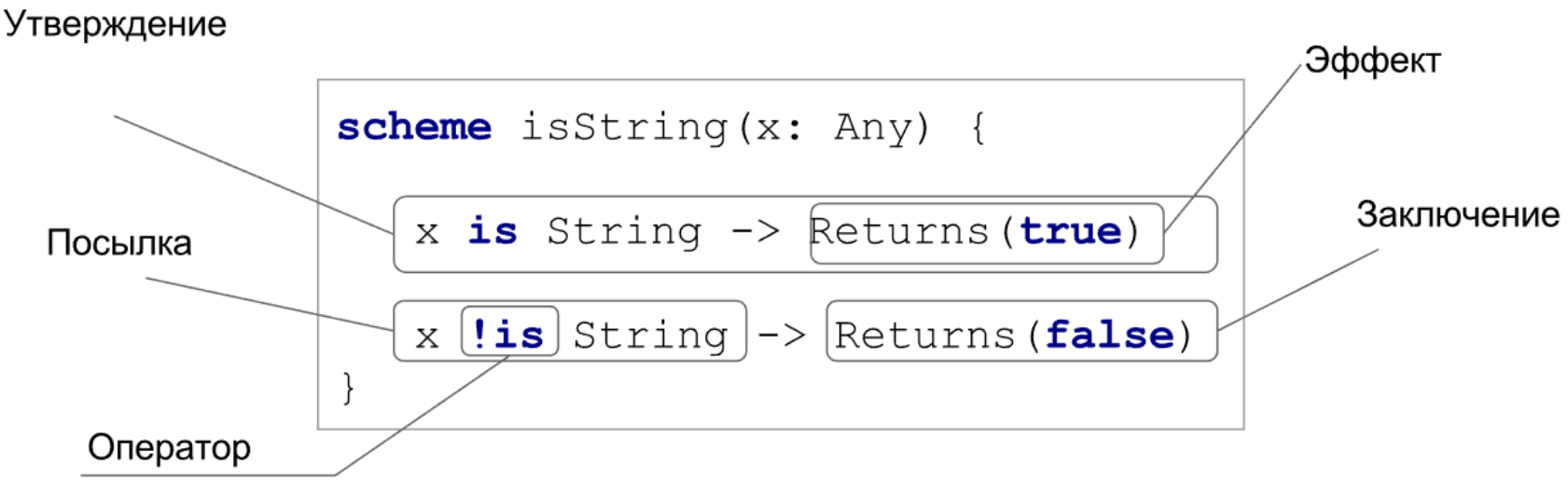
- Запись в переменную – эффект
- И возвращение значения – тоже эффект!
- И даже если мы просто узнали тип какой-то переменной, это тоже эффект!

Решение. Основные понятия

Definition

Схема эффектов – описание эффектов вычислений и *условий*, вызывающих эти эффекты.

```
fun isString(x: Any): Boolean {
    return x is String
}
```



Комбинирование схем. Постановка проблемы

Даны две схемы:

```
schema isString(x: Any) {
   x is String  -> Returns true
   x !is String -> Returns false
}
```

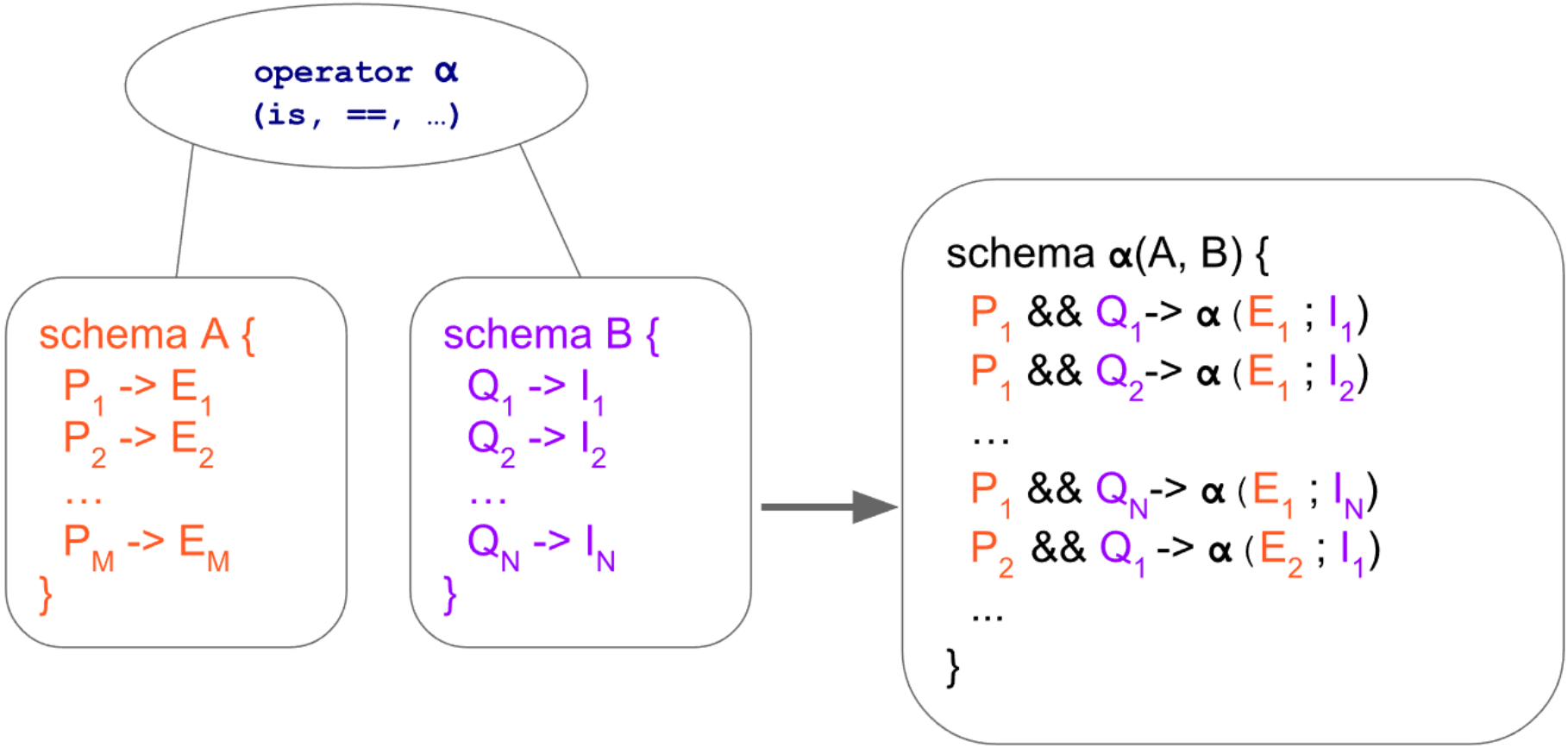
```
schema assert(c: Bool) {
  c == true -> Returns true
  c != true ->
       Throws AssertionError
}
```

Пусть выполняется **вложенный** вызов:
`assert(isString(x))`

Хотелось бы получить **комбинированную** схему для этого вызова:

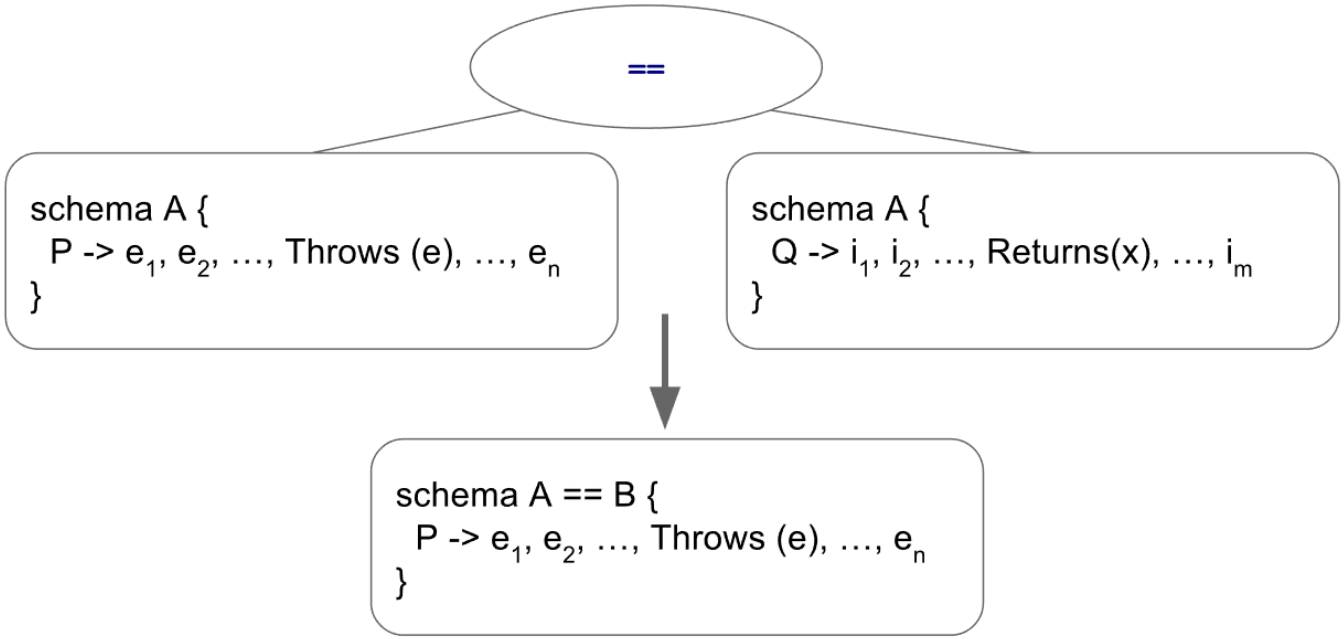
```
scheme assert(isString(x)) {
  x is String  -> Returns true
  x !is String -> Throws AssertionError
}
```

Комбинирование схем. Общее решение



- Преобразование α определяется оператором
- Как правило, определяется достаточно тривиально и *только на небольшом классе* эффектов
  - `==(Returns x; Returns y)` $\equiv$ `Returns(x == y)`

Комбинирование схем. Частичные вычисления



Эффекты правой части не успели выполниться!

Definition

Исход – специальный класс эффектов (`Returns` и `Throws`), которые говорят об успешности вычислений. Система эффектов «знает» про все исходы.

Реализация. Источники схем эффектов

- Явная аннотация на функции

```
1 @Effects("""
2   condition == true -> Returns unit;
3   condition != true -> Throws AssertionError
4 """)
5 fun myAssert(condition: Boolean): Unit {
6   if (!condition)
7     throw AssertionError("Assertion failed")
8 }
```

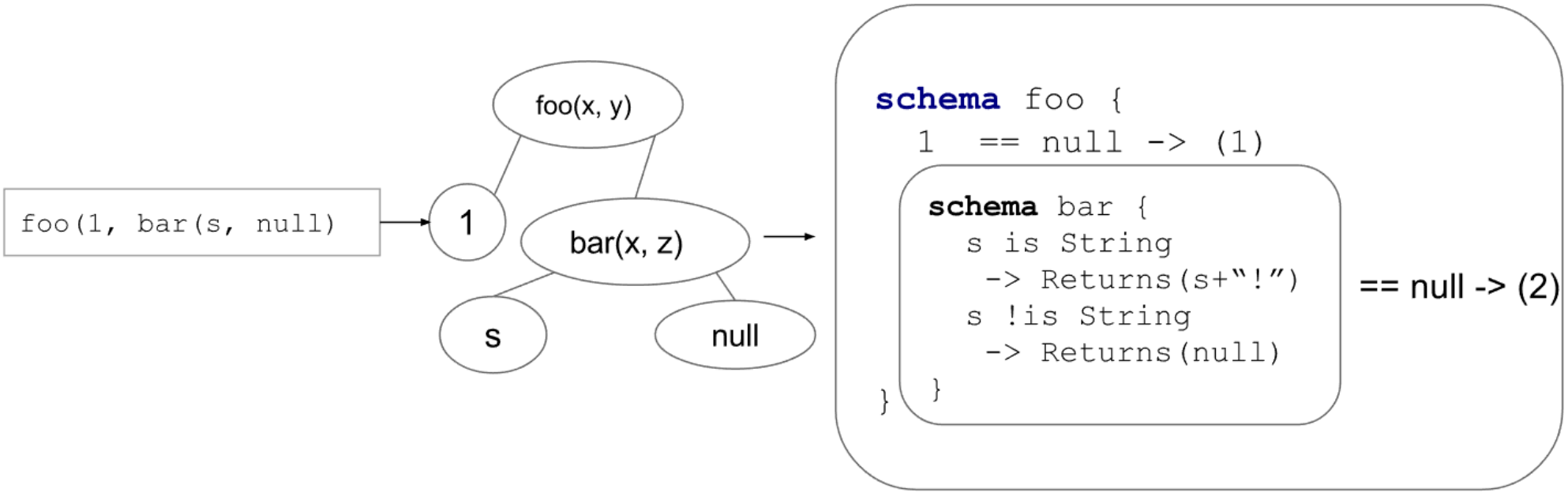
- Вывод из тела функции
  В текущей реализации поддерживаются только тела, состоящие из одного выражения (expression):

```
1 fun isString(x: Any?) = x is String
```

Реализация. Полный алгоритм

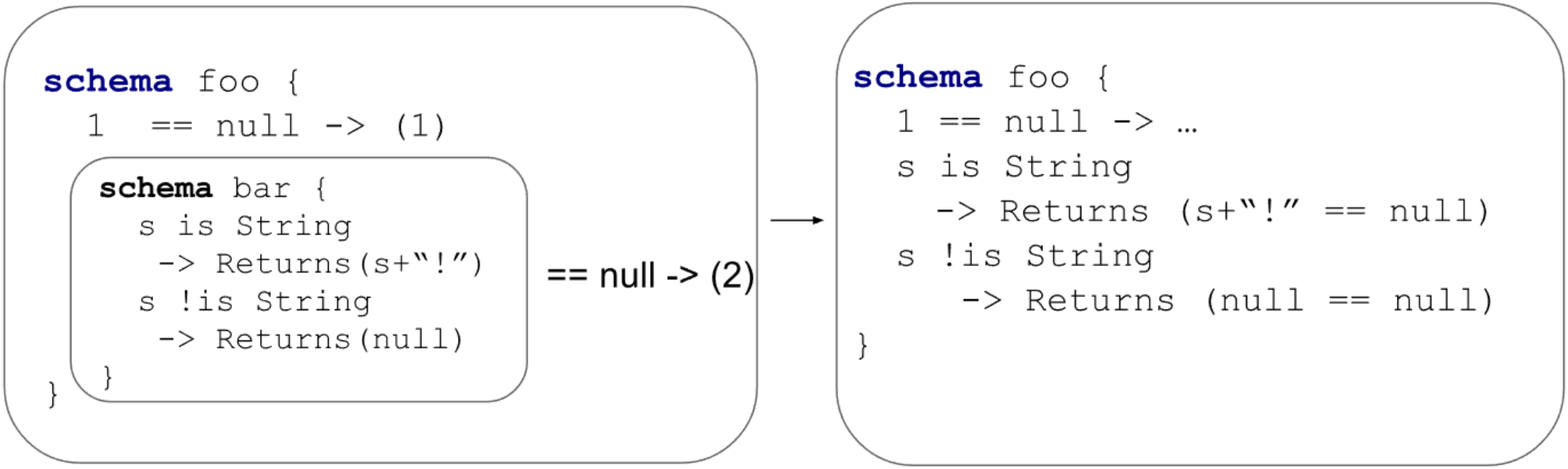
Пусть дан вызов `foo(1, bar(s, null))`.

1. Из IR компилятора убирается лишняя информация, проверяется, что resolving выполнен, и т.д.
2. Все вызовы заменяются на соответствующие схемы, выполняется подстановка переменных



Реализация. Полный алгоритм

4. Выполняется комбинирование схем, получаем одну большую схему, описывающую все эффекты данного вызова
5. Выполняется сокращение схемы: вычисляются константы, откидываются невозможные ветки вычислений и т.д.



Применение. Детерминированные вызовы

Вводим эффект `Calls(f, c)`: «Функция f будет вызвана c раз»

```
1 fun run(block: () -> Unit)
2     = block()
```

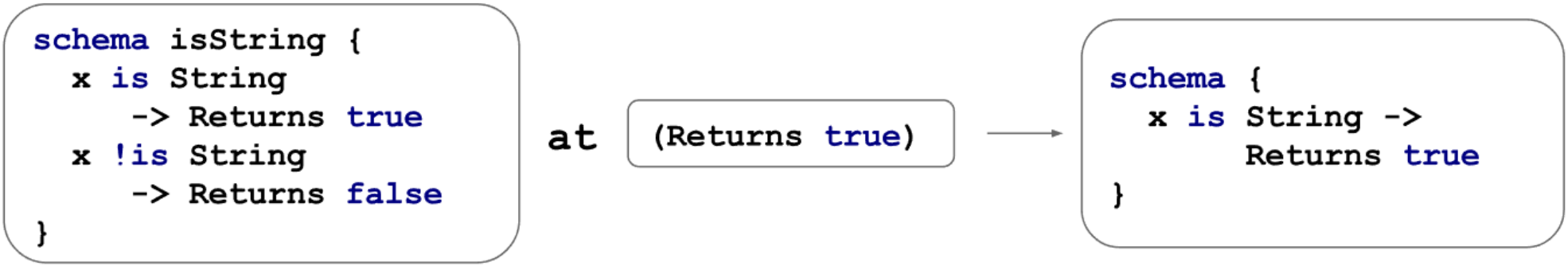
```
schema run {
  true -> Calls(block, 1)
}
```

Данный эффект «хороший» в том смысле, что он – классический *side-effect*.
Поэтому он легко описывается и не требует дополнительных конструкций при введении

Применение. Смарткасты в коллекциях

Для введения смарткастов в коллекциях нам понадобится два дополнительных оператора:

- S `at` Y, где S – схема, Y – эффект



- S `typeOf` V, где S – схема, V – переменная

Применение. Смарткасты в коллекциях

```
1 fun filter(l: List<T>, p: (x: T) -> Boolean): List<T> {
2     ...
3 }
```

```
schema filter {
  true -> Returns List <
            ( p(x) at (Returns true) ) typeOf x
            тип переменной x, если p(x) вернул true
        >
}
```

Итоги

- Была разработана грамматика, написан парсер с помощью ANTLR
- Были разработаны правила комбинирования схем эффектов
- Были поддержаны некоторые виды эффектов: `Returns`, `Throws`, `Calls`
- Были улучшен статический анализ языка Kotlin:
  - Смарткасты в условных выражениях, assert-подобных вызовах, коллекциях
  - Анализ (ре)инициализации переменных
- Система расширяема за счет добавления новых эффектов и операторов
- Поддерживается вывод эффектов для отдельных выражений (expressions)

Дальнейшие планы

- Внесение системы master-ветку компилятора Kotlin
- Аннотация стандартной библиотеки Kotlin
- Вывод эффектов по телу функции
- Исследование полезности более мощных понятий мат. логики (например, кванторы)
- Исследование полезности других эффектов (ввод-вывод, многопоточность)