The Pleasure of Being Lazy

Михаил Беляев

October 25, 2017

Вспомним первые лекции

- Haskell — *ленивый* язык программирования
- Если быть точным, то call-by-need

Что это значит?

Call-by-need evaluation

- Значение считается только тогда, когда нужно
- Значения без параметров можно посчитать только один раз
    - Это также называется *мемоизацией*

Ленивость на уровне структур данных

- Структуры данных в Haskell тоже ленивые!

```
x = Just $ error "Ooops!"
isNothing Nothing = True
isNothing _       = False
...

isNothing x -- does not crash!
```

Ленивость на уровне структур данных: списки

- Списки тоже ленивые

```
list = [0, 1, 2, 3, error "Slap!", 5]

...
show $ take 3 list -- [0, 1, 2]
show $ take 5 list -- Slap!
```

Ленивость на уровне структур данных: списки

- Список состоит из *головы* и *хвоста*
- И то и другое считается лениво только тогда, когда нужно

Ленивость на уровне структур данных: списки

- Список состоит из *головы* и *хвоста*
- И то и другое считается лениво только тогда, когда нужно

- Почему бы не считать хвост по мере прохода по списку?

Ленивость на уровне структур данных: списки

```
list = 1 : list -- perfectly legal
```

Теперь в list содержится 1 и list. Который 1 и list. Который 1 и list...

Мы получили *бесконечный* список единиц.
Что будет, если мы попробуем его напечатать?

Ленивость на уровне структур данных: списки

- Те комбинаторы, которым не нужен весь список, на бесконечных списках тоже работают
  `map`, `filter`, `zip`, `zipWith`
- Те, которые проходят весь список для получения результата, могут не работать

Бесконечные списки

Как это можно использовать?
Можно делать *мемоизацию на списках*

```
-- Бесконечный список всех чисел Фибоначчи
fibs = 0 : 1 : zipWith (+) fibs (tail fibs)
-- [0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,144,233,377]
take 15 fibs
```

Это эффективная реализация чисел Фибоначчи, за $O(N)$!

Бесконечные списки: ещё примеры

```haskell
-- Натуральные числа
nats = 1 : map (+1) nats
-- Все квадраты
squares = map sq nats where sq x = x * x
-- Чётные числа
evens = filter isEven nats
```

Бесконечные списки: ещё примеры

Функции, которые не стоит *никогда* вызывать на бесконечных списках

- `show`
- `length`
- `reverse`
- `last`
- etc.

Бесконечные списки: задачка

Задача с 1 курса на циклы:
Напечатать *N*-ю *цифру* в списке всех квадратов натуральных чисел

Бесконечные списки: задачка

Задача с 1 курса на циклы:
Напечатать *N*-ю *цифру* в списке всех квадратов натуральных чисел

```
square x = x * x
allSquares = square <$> [1..]
result n = (concatMap show allSquares) !! n
```

Шаг вперёд: потоки

- Бесконечные списки это прикольно
- Почему бы не сделать структуру данных, которая **всегда** бесконечна?

Шаг вперёд: потоки

```haskell
data Stream a = Cons a (Stream a)

shead (Cons h _) = h
stail (Cons _ t) = t

srepeat x =
    let rec = Cons x rec in
    rec
```

Шаг вперёд: потоки

```haskell
instance Functor Stream where
    fmap f (Cons h t) = Cons (f h) (fmap f t)
```

Шаг вперёд: потоки

Чем отличается поток от списка?

Шаг вперёд: потоки

Чем отличается поток от списка?

Поток всегда, гарантированно бесконечный

Монада над потоком

Как реализовать `return`?

Монада над потоком

Как реализовать `return`?

```
sreturn x = srepeat x
```

Монада над потоком

Как реализовать `flatten`?

```
sflatten :: Stream (Stream x) -> Stream x
```

Монада над потоком

Как реализовать `flatten`?

```
sflatten :: Stream (Stream x) -> Stream x
```

Варианты:

- Взять первый
- Взять первый элемент из каждого

Монада над потоком

Как реализовать `flatten`?

Правильный ответ — взять диагональ

```
diag (Cons h t) = Cons (shead h) $ diag (stail <$> t)
sflatten = diag
```

Монада над потоком

```
xplusy =
    do
        x' <- x
        y' <- y
        return $ x' + y'
```

Монада над потоком

```
xplusy =
    do
        x' <- x
        y' <- y
        return $ x' + y'
```

Монада работает как `zip`.

Монада над потоком

На самом деле, поток это один из примеров т.н. комонады.

```
class Comonad w where
    extract :: w a -> a
    extend :: w a -> w (w a)
```

Но это уже совсем другая история...

Что ещё можно сделать с ленивостью и списками

Двунаправленные списки!

```haskell
data DList a = DEmpty | DCons (DList a) a (DList a)
```

Двунаправленные списки: как?!?

Нужно всего лишь в **левую часть** своей **правой части** положить **себя**

Laziness to the rescue!

Двунаправленные списки: как??

```
list2dlist' _ [] = DEmpty
list2dlist' left (h:t) =
    let rec = DCons left h (list2dlist' rec t) in
    rec

list2dlist lst = list2dlist' DEmpty lst
```

Двунаправленные списки

- Что будет, если написать в конце типа списка `deriving (Show, Eq)`?

Двунаправленные списки

- Что будет, если написать в конце типа списка `deriving (Show, Eq)`?

```
instance (Eq a) => Eq (DList a) where
    DEmpty == DEmpty = True
    (DCons _ lh lt) == (DCons _ rh rt) =
        (lh == rh) && (lt == rt)
instance (Show a) => Show (DList a) where
    show lst = "[" ++ show' lst ++ "]"
        where
            show' DEmpty = ""
            show' (DCons _ h DEmpty) = show h
            show' (DCons _ h t) =
              show h ++ ", " ++ show' t
```

Что позволяют делать двунаправленные списки?

Вспомним Си.

Что позволяют делать двунаправленные списки?

Вспомним Си.

Да почти ничего. Можно итерироваться как слева направо, так и справа налево

Что позволяют делать двунаправленные списки?

Может ли двунаправленный список быть бесконечным???

Что позволяют делать двунаправленные списки?

Может ли двунаправленный список быть бесконечным???

Так он уже.

```
infDList = list2dlist [1..]
```

Может ли он быть бесконечным *в обе стороны*? :-)

Что ещё можно делать с ленивостью?

В общем случае, возможны любые графовые структуры данных, в т.ч. содержащие сами себя в качестве элемента

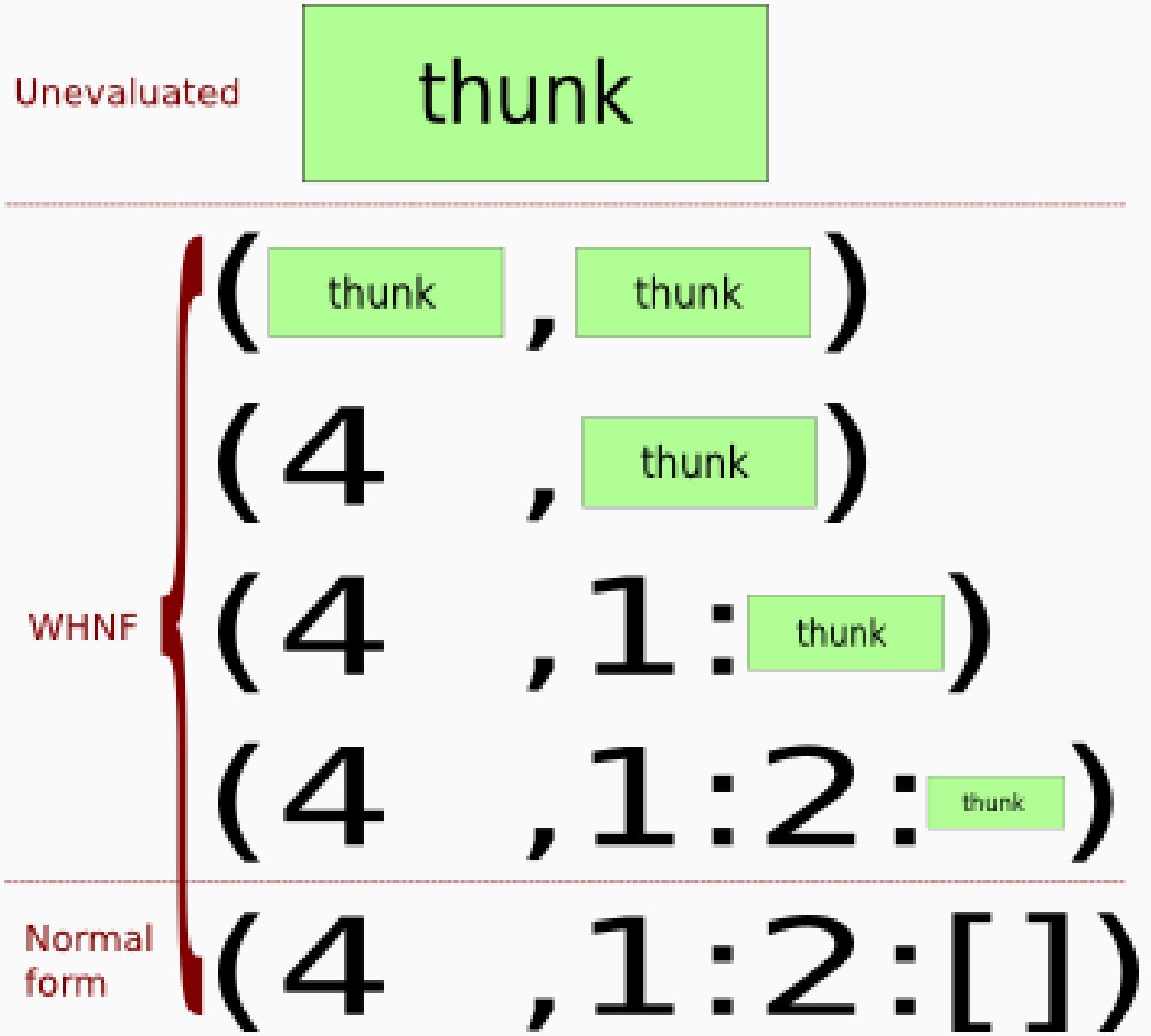
Данная идиома в литературе называется «Tying the Knot»

Как работает call-by-need evaluation

В любом ленивом контексте вместо значения в памяти хранятся т.н. thunks.

В простом случае можно рассматривать thunk как `Either a (() -> a)`

Как работает call-by-need evaluation



Как работает call-by-need evaluation

- Если значение внутри thunk зачем-то нужно, он высчитывается и заменяется на полное значение
- После этого никакой ленивости уже нет — всё считается только 1 раз

Когда не стоит быть ленивыми?

- Раз всё так хорошо, зачем вообще не использовать ленивость?

Когда не стоит быть ленивыми?

- Раз всё так хорошо, зачем вообще не использовать ленивость?

- Очень сложно оценить сложность
- Программа тормозит в неожиданные моменты
- Ошибки откладываются до непонятных событий

Когда не стоит быть ленивыми?

```haskell
sum = foldl (+) 0
. . .
sum [1..10000000] -- ~20 seconds

sum = foldl' (+) 0
. . .
sum [1..10000000] -- <1 second
```

Как избавиться от ленивости

```
func !(h:t) = ... -- #BangPatterns
func = f $! h
```

Либо использовать строгие версии функций:

- `foldl'` вместо `foldl`
- `foldr'` вместо `foldr`

Мораль?

- Ленивое выполнение позволяет делать очень крутые вещи
  - Бесконечные структуры данных
  - Бесплатное динамическое программирование
  - Некоторые алгоритмы так были открыты «Packrat parsing»
- Понять ленивую программу зачастую сложновато