

# Вычислительные выражения в F#

## Computation Expressions, Workflows

Юрий Литвинов

25.03.2016г

# Что это и зачем нужно

«a monad is a monoid in the category of endofunctors, what's the problem?»

- ▶ Механизм управления процессом вычислений
- ▶ В функциональных языках — единственный способ определить порядок вычислений
- ▶ Зачастую — нетривиальным образом (Async)
- ▶ Способ не писать кучу вспомогательного кода (сродни АОП)
- ▶ В теории ФП они называются монадами
- ▶ На самом деле, синтаксический сахар

# Пример

Классический пример с делением на 0

Сопротивление сети из параллельных резисторов:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  могут быть 0. Что делать?

- ▶ Бросать исключение — плохо
- ▶ Использовать option — много работы, но попробуем

# Реализация вручную

divide

F#

```
let divide x y =  
    match y with  
    | 0.0 -> None  
    | _ -> Some (x / y)
```

# Реализация вручную

## Само вычисление

F#

```
let resistance r1 r2 r3 =  
    let r1' = divide 1.0 r1  
    match r1' with  
    | None -> None  
    | Some x -> let r2' = divide 1.0 r2  
                match r2' with  
                | None -> None  
                | Some y -> let r3' = divide 1.0 r3  
                            match r3' with  
                            | None -> None  
                            | Some z -> let r = divide 1.0 (x + y + z)  
                                        r
```

## То же самое, через Workflow Builder

F#

```
type MaybeBuilder() =  
    member this.Bind(x, f) =  
        match x with  
        | None -> None  
        | Some a -> f a  
    member this.Return(x) =  
        Some x  
  
let maybe = new MaybeBuilder()
```

# Само вычисление

F#

```
let resistance r1 r2 r3 =  
    maybe {  
        let! r1' = divide 1.0 r1  
        let! r2' = divide 1.0 r2  
        let! r3' = divide 1.0 r3  
        let! r = divide 1.0 (r1' + r2' + r3')  
        return r  
    }
```

# Некоторые синтаксические "похожести"

seq — это тоже Computation Expression

## F#

```
let daysOfTheYear =  
    seq {  
        let months =  
            [ "Jan"; "Feb"; "Mar"; "Apr"; "May"; "Jun";  
              "Jul"; "Aug"; "Sep"; "Oct"; "Nov"; "Dec" ]  
        let daysInMonth month =  
            match month with  
            | "Feb" -> 28  
            | "Apr" | "Jun" | "Sep" | "Nov" -> 30  
            | _ -> 31  
        for month in months do  
            for day = 1 to daysInMonth month do  
                yield (month, day)  
    }
```



## Ещё один пример

F#

```
let debug x = printfn "value is %A" x
```

```
let withDebug =  
    let a = 1  
    debug a  
    let b = 2  
    debug b  
    let c = a + b  
    debug c  
    c
```

## То же самое с Workflow

F#

```
type DebugBuilder() =  
    member this.Bind(x, f) =  
        debug x  
        f x  
    member this.Return(x) = x  
  
let debugFlow = DebugBuilder ()  
  
let withDebug = debugFlow {  
    let! a = 1  
    let! b = 2  
    let! c = a + b  
    return c  
}
```

# Что происходит

Как оно устроено внутри

- ▶ Bind создаёт цепочку continuation passing style-функций, возможно, с побочными эффектами
- ▶ Есть тип-обёртка (или монадический тип), в котором хранится состояние вычисления
- ▶ let! вызывает Bind, return — Return, Bind принимает обёрнутое значение и функцию-continuation, return по необёрнутому значению делает обёрнутое

# Отступление про CPS

C#, код без CPS

C#

```
public int Divide(int a, int b)
{
    if (b == 0)
    {
        throw new InvalidOperationException("div by 0");
    }
    else
    {
        return a / b;
    }
}
```

# C#, то же с CPS

## C#

```
public T Divide<T>(int a, int b, Func<T> ifZero
    , Func<int, T> ifSuccess)
{
    if (b == 0)
    {
        return ifZero();
    }
    else
    {
        return ifSuccess(a / b);
    }
}
```

Вызывающий решает, что делать, а не вызываемый.

# То же на F#

Без CPS:

F#

```
let divide a b =  
    if (b = 0)  
    then invalidOp "div by 0"  
    else (a / b)
```

C CPS:

F#

```
let divide ifZero ifSuccess a b =  
    if (b = 0)  
    then ifZero()  
    else ifSuccess (a / b)
```

# Примеры

## F#

```
let ifZero1 () = printfn "bad"
let ifSuccess1 x = printfn "good %i" x
let divide1 = divide ifZero1 ifSuccess1

let ifZero2 () = None
let ifSuccess2 x = Some x
let divide2 = divide ifZero2 ifSuccess2

let ifZero3 () = failwith "div by 0"
let ifSuccess3 x = x
let divide3 = divide ifZero3 ifSuccess3
```

## let, «МНОГОСЛОВНЫЙ» синтаксис

F#

```
let x = something
```

равносильно

F#

```
let x = something in [ выражение с x ]
```

например,

F#

```
let x = 1 in
    let y = 2 in
        let z = x + y in
            z
```



# let и лямбды

F#

```
fun x -> [ выражение с x ]
```

или

F#

```
something |> (fun x -> [ выражение с x ])
```

и обращаем внимание, что:

F#

```
let x = someExpression in [ выражение с x ]  
someExpression |> (fun x -> [ выражение с x ])
```

# let и CPS

F#

```
let x = 1 in
    let y = 2 in
        let z = x + y in
            z
```

F#

```
1 |> (fun x ->
2 |> (fun y ->
    x + y |> (fun z ->
        z))))
```

## Теперь вспомним про Workflow-ы

F#

```
let pipeInto expr f  
    expr |> f
```

F#

```
pipeInto (1, fun x ->  
    pipeInto (2, fun y ->  
        pipeInto (x + y, fun z ->  
            z)))
```

# Зачем

F#

```
let pipeInto (expr, f) =  
    printfn "expression is %A" expr  
    expr |> f
```

F#

```
pipeInto (1, fun x ->  
    pipeInto (2, fun y ->  
        pipeInto (x + y, fun z ->  
            z)))
```

## То же самое с Workflow

F#

```
type DebugBuilder() =  
    member this.Bind(x, f) =  
        debug x  
        f x  
    member this.Return(x) = x  
  
let debugFlow = DebugBuilder ()  
  
let withDebug = debugFlow {  
    let! a = 1  
    let! b = 2  
    let! c = a + b  
    return c  
}
```

# Более сложный пример, с делением

pipeInto, которая потом будет Bind

F#

```
let pipeInto (expr, f) =  
    match expr with  
    | None ->  
        None  
    | Some x ->  
        x |> f
```

# Более сложный пример, с делением

Сам процесс

F#

```
let resistance r1 r2 r3 =  
    let a = divide 1.0 r1  
    pipeInto (a, fun a' ->  
        let b = divide 1.0 r2  
        pipeInto (b, fun b' ->  
            let c = divide 1.0 r3  
            pipeInto (c, fun c' ->  
                let r = divide 1.0 (a + b + c)  
                pipeInto (r, fun r' ->  
                    Some r  
                ))  
            ))  
    )
```

## Уберём временные let-ы

F#

```
let resistance r1 r2 r3 =  
    pipeInto (divide 1.0 r1, fun a ->  
        pipeInto (divide 1.0 r2, fun b ->  
            pipeInto (divide 1.0 r3, fun c ->  
                pipeInto (divide 1.0 (a + b + c), fun r ->  
                    Some r  
                )))  
    )))
```



# И отформатируем

F#

```
let resistance r1 r2 r3 =  
    pipeInto (divide 1.0 r1, fun a ->  
    pipeInto (divide 1.0 r2, fun b ->  
    pipeInto (divide 1.0 r3, fun c ->  
    pipeInto (divide 1.0 (a + b + c) , fun r ->  
    Some r  
    ))))
```

## Сравним с оригиналом

F#

```
let resistance r1 r2 r3 =  
    maybe {  
        let! r1' = divide 1.0 r1  
        let! r2' = divide 1.0 r2  
        let! r3' = divide 1.0 r3  
        let! r = divide 1.0 (r1' + r2' + r3')  
        return r  
    }
```

## Подробнее про Bind

- ▶  $\text{Bind} : M<'T> * ('T \rightarrow M<'U>) \rightarrow M<'U>$
- ▶  $\text{Return} : 'T \rightarrow M<'T>$

F#

```
let! x = 1 in x * 2
```

F#

```
builder.Bind(1, (fun x -> x * 2))
```

# Инфиксное определение Bind

F#

```
let (>>=) m f = pipeInto(m, f)

let workflow =
    1 >>= (+) 2 >>= (*) 42 >>= id
```

# Option.bind и maybe

F#

```
module Option =  
    let bind f m =  
        match m with  
        | None ->  
            None  
        | Some x ->  
            x |> f  
  
type MaybeBuilder() =  
    member this.Bind(m, f) = Option.bind f m  
    member this.Return(x) = Some x
```

# Содержимое типа-обёртки может иметь разный тип

Пример, серия запросов к БД

F#

```
type DbResult<'a> =  
    | Success of 'a  
    | Error of string
```

```
type CustomerId = CustomerId of string  
type OrderId = OrderId of int  
type ProductId = ProductId of string
```

# Пример, запросы

F#

```
let getCustomerId name =  
    if (name = "")  
    then Error "getCustomerId failed"  
    else Success (CustomerId "Cust42")  
  
let getLastOrderForCustomer (CustomerId custId) =  
    if (custId = "")  
    then Error "getLastOrderForCustomer failed"  
    else Success (OrderId 123)  
  
let getLastProductForOrder (OrderId orderId) =  
    if (orderId = 0)  
    then Error "getLastProductForOrder failed"  
    else Success (ProductId "Product456")
```

# Общение с БД вручную

F#

```
let product =  
    let r1 = getCustomerId "Alice"  
    match r1 with  
    | Error e -> Error e  
    | Success custId ->  
        let r2 = getLastOrderForCustomer custId  
        match r2 with  
        | Error e -> Error e  
        | Success orderId ->  
            let r3 = getLastProductForOrder orderId  
            match r3 with  
            | Error e -> Error e  
            | Success productId ->  
                printfn "Product is %A" productId  
                r3
```



# Builder

F#

```
type DbResultBuilder() =  
  
    member this.Bind(m, f) =  
        match m with  
        | Error e -> Error e  
        | Success a ->  
            printfn "Successful: %A" a  
            f a  
  
    member this.Return(x) =  
        Success x  
  
let dbresult = new DbResultBuilder()
```

# Workflow

F#

```
let product =  
    dbresult {  
        let! custId = getCustomerId "Alice"  
        let! orderId = getLastOrderForCustomer custId  
        let! productId = getLastProductForOrder orderId  
        printfn "Product is %A" productId  
        return productId  
    }  
    printfn "%A" product
```

# Композиция Workflow-ов

F#

```
let subworkflow1 = myworkflow { return 42 }
let subworkflow2 = myworkflow { return 43 }

let aWrappedValue =
    myworkflow {
        let! unwrappedValue1 = subworkflow1
        let! unwrappedValue2 = subworkflow2
        return unwrappedValue1 + unwrappedValue2
    }
```

# Вложенные Workflow-ы

F#

```
let aWrappedValue =  
    myworkflow {  
        let! unwrappedValue1 = myworkflow {  
            let! x = myworkflow { return 1 }  
            return x  
        }  
        let! unwrappedValue2 = myworkflow {  
            let! y = myworkflow { return 2 }  
            return y  
        }  
        return unwrappedValue1 + unwrappedValue2  
    }
```

# ReturnFrom

F#

```
type MaybeBuilder() =  
    member this.Bind(m, f) = Option.bind f m  
    member this.Return(x) =  
        printfn "Wrapping a raw value into an option"  
        Some x  
    member this.ReturnFrom(m) =  
        printfn "Returning an option directly"  
        m  
  
let maybe = new MaybeBuilder()
```

# Пример

F#

```
maybe { return 1 }
```

```
maybe { return! (Some 2) }
```

# Зачем это

F#

```
maybe {  
    let! x = divide 24 3  
    let! y = divide x 2  
    return y  
}
```

```
maybe {  
    let! x = divide 24 3  
    return! divide x 2  
}
```

# Первый закон монад

- Bind и Return должны быть взаимно обратны

F#

```
myworkflow {  
    let originalUnwrapped = something  
    let wrapped = myworkflow { return originalUnwrapped }  
    let! newUnwrapped = wrapped  
    assertEquals newUnwrapped originalUnwrapped  
}  
  
myworkflow {  
    let originalWrapped = something  
    let newWrapped = myworkflow {  
        let! unwrapped = originalWrapped  
        return unwrapped  
    }  
    assertEquals newWrapped originalWrapped  
}
```



## Второй закон монад

- Композиция должна быть КОНСИСТЕНТНОЙ

F#

```
let result1 = myworkflow {  
    let! x = originalWrapped  
    let! y = f x  
    return! g y  
}  
let result2 = myworkflow {  
    let! y = myworkflow {  
        let! x = originalWrapped  
        return! f x  
    }  
    return! g y  
}  
assertEqual result1 result2
```

# Какие ещё методы есть у WorkflowBuilder

Имя	Тип	Описание
Delay	$(\text{unit} \rightarrow M<'T>) \rightarrow M<'T>$	Превращает в функцию
Run	$M<'T> \rightarrow M<'T>$	Исполняет вычисление
Combine	$M<'T> * M<'T> \rightarrow M<'T>$	Последовательное исполнение
For	$\text{seq}<'T> * ('T \rightarrow M<'U>) \rightarrow M<'U>$	Цикл for
TryWith	$M<'T> * (\text{exn} \rightarrow M<'T>) \rightarrow M<'T>$	Блок try with
TryFinally	$M<'T> * (\text{unit} \rightarrow \text{unit}) \rightarrow M<'T>$	Блок finally
Using	$'T * ('T \rightarrow M<'U>) \rightarrow M<'U>$ when 'U :> IDisposable	use
While	$(\text{unit} \rightarrow \text{bool}) * M<'T> \rightarrow M<'T>$	Цикл while
Yield	$'T \rightarrow M<'T>$	yield или ->
YieldFrom	$M<'T> \rightarrow M<'T>$	yield! или ->>
Zero	$\text{unit} \rightarrow M<'T>$	Обёрнутое ()

# Моноиды

## Немного алгебры

Множество с бинарной операцией

- ▶ Замкнутость относительно операции
- ▶ Ассоциативность
- ▶ Наличие нейтрального элемента

Например,  $[a] @ [b] = [a; b]$

# Пример

F#

```
type OrderLine = { Quantity : int; Total : float }
```

```
let orderLines = [  
    { Quantity = 2; Total = 19.98 };  
    { Quantity = 1; Total = 1.99 };  
    { Quantity = 2; Total = 3.98 }; ]
```

```
let addLine line1 line2 =  
    { Quantity = line1.Quantity + line2.Quantity;  
      Total = line1.Total + line2.Total }
```

```
orderLines |> List.reduce addLine
```

# Эндоморфизмы

Эндоморфизм — функция, у которой тип входного значения совпадает с типом выходного

Множество функций + композиция — моноид, если функции — эндоморфизмы

# Пример

F#

```
let plus1 x = x + 1
let times2 x = x * 2
let subtract42 x = x - 42

let functions = [
    plus1;
    times2;
    subtract42 ]

let newFunction = functions |> List.reduce (>>)

printfn "%d" <| newFunction 20
```

# Bind

`Option.bind : ('T → 'U option) → 'T option → 'U option`

— частично применённый Bind — эндоморфизм (если 'T и 'U совпадают)

## F#

```
let bindFns = [  
    Option.bind (fun x -> if x > 1 then  
                          Some (x * 2)  
                          else None);  
    Option.bind (fun x -> if x < 10 then Some x else None)  
]
```

```
let bindAll =  
    bindFns |> List.reduce (>>)
```

```
Some 4 |> bindAll
```

# Не только эндоморфизмы могут образовать моноид

F#

```
type Predicate <'A> = 'A -> bool
```

```
let predAnd p1 p2 x =  
    if p1 x  
    then p2 x  
    else false
```

```
let predicates = [isMoreThan10Chars; isMixedCase; isNotDicti
```

```
let combinePredicates = predicates |> List.reduce predAnd
```



# Монады

## Workflow-ы, Computational Expressions

- ▶ Замкнуты
- ▶ Композиция ассоциативна (второй закон монад)
- ▶ Нейтральный элемент (Return, первый закон монад)

«a monad is a monoid in the category of endofunctors, what's the problem?»

# Полезные ссылки

Откуда взяты примеры

- ▶ <https://fsharpforfunandprofit.com/series/computation-expressions.html>
- ▶ <http://www.slideshare.net/ScottWlaschin/fp-patterns-buildstuffit>