

Universidade Federal Fluminense – UFF

Instituto de Ciência e Tecnologia

Ciência da Computação

Matheus Antonio Oliveira Cardoso

Padrões de Projeto e o Paradigma Funcional

Rio das Ostras

2020

Universidade Federal Fluminense – UFF

Instituto de Ciência e Tecnologia

Ciência da Computação

Matheus Antonio Oliveira Cardoso

**Padrões de Projeto
e o Paradigma Funcional**

Trabalho de Conclusão de Curso
para o curso de graduação em Ci-
ência da Computação da Universi-
dade Federal Fluminense.

Orientador: Carlos Bazilio Martins

Rio das Ostras

2020

Matheus Antonio Oliveira Cardoso

Padrões de Projeto e o Paradigma Funcional

Trabalho de Conclusão de Curso para o curso
de graduação em Ciência da Computação da
Universidade Federal Fluminense.

Trabalho aprovado. Rio das Ostras, 09 de dezembro de 2020:

Carlos Bazilio Martins
Orientador

Rio das Ostras
2020

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar o conceito de padrões de projeto no contexto do paradigma de programação funcional. Os padrões de projeto apresentam soluções comuns para problemas comuns de design de software, destacando-se os vinte e três padrões Gang of Four, que apresentam soluções comuns para problemas relacionados ao paradigma orientado a objetos. Porém, como a forma de construir um software difere muito do paradigma funcional para o orientado a objetos, existe a dúvida de como ou se esses padrões podem ser reaproveitados, além da possibilidade de o uso do paradigma funcional solucionar os problemas oriundos da orientação a objetos. Dessa forma, o trabalho buscará analisar, do ponto de vista funcional, cada um dos 23 padrões GoF, verificando se o problema de orientação a objetos proposto também existe no contexto funcional e se é resolvido pelo padrão em questão. Também serão analisados, se existirem, os casos em que o problema deixa de existir ou é solucionado de outra forma. Ao fim, deseja-se concluir se o uso dos recursos de programação funcional contribui para a solução de cada padrão GoF e, caso a conclusão não seja a mesma para todos os padrões, tentar identificar as características de cada grupo.

Palavras-chave: padrões de projeto. programação funcional.

Abstract

The present work aims to analyze the concept of design patterns in a functional programming paradigm context. The design patterns present common solutions to common software design problems, standing out the twenty-three Gang of Four patterns, which present common solutions for object oriented related problems. However, since the way of building a software differs a lot between a functional paradigm and an object oriented paradigm, there is the question of how or whether these patterns can be reused, and the possibility that the use of the functional paradigm can solve problems arising from object orientation. In this way, the work will seek to analyze, from the functional point of view, each of the 23 GoF patterns, verifying if the proposed object oriented problem also exists in the functional context and if it is solved by the pattern in question. There will also be analyzed, if existing, the cases in which the problem won't exist or is solved in another way. At the end, it is aimed to conclude if the use of functional programming resources contribute to the solution of each GoF pattern and, in case of the conclusion not being the same for all patterns, try to identify the characteristics of each group.

Keywords: design patterns. functional programming.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Estrutura do Singleton utilizada como exemplo	27
Figura 2 – Estrutura do Factory Method	41
Figura 3 – Estrutura do Abstract Factory	43
Figura 4 – Estrutura do Builder	44
Figura 5 – Estrutura do Prototype	45
Figura 6 – Estrutura do Singleton	46
Figura 7 – Estrutura do Adapter de Classe	49
Figura 8 – Estrutura do Adapter de Objeto	50
Figura 9 – Estrutura do Bridge	51
Figura 10 – Estrutura do Composite	52
Figura 11 – Estrutura do Decorator	53
Figura 12 – Estrutura do Façade	54
Figura 13 – Estrutura do Flyweight	55
Figura 14 – Estrutura do Proxy	56
Figura 15 – Estrutura do Chain of Responsibility	57
Figura 16 – Estrutura do Command	58
Figura 17 – Estrutura do Interpreter	60
Figura 18 – Estrutura do Iterator	61
Figura 19 – Estrutura do Mediator	62
Figura 20 – Exemplo de Mediator	63
Figura 21 – Estrutura do Memento	67
Figura 22 – Estrutura do Observer	68
Figura 23 – Estrutura do State	69
Figura 24 – Estrutura do Strategy	71
Figura 25 – Estrutura do Template Method	74
Figura 26 – Estrutura do Visitor	77

Lista de códigos

Código 1 – Exemplo de Função Pura	19
Código 2 – Exemplo de Função Pura	19
Código 3 – Exemplo de Código Mutável	20
Código 4 – Exemplo de Código Imutável	20
Código 5 – Exemplo de Função de Alta Ordem	21
Código 6 – Exemplo sem Funções de Alta Ordem	21
Código 7 – Exemplo sem Currying	22
Código 8 – Exemplo de Currying	22
Código 9 – Exemplo de Closure	22
Código 10 – Exemplo de Composição de Funções	23
Código 11 – Exemplo de Composição de Funções	24
Código 12 – Exemplo de Singleton sem subclasses	28
Código 13 – Exemplo de Singleton com subclasses	29
Código 14 – Classe comum em Orientação a Objetos	35
Código 15 – Representação de uma classe no contexto funcional	36
Código 16 – Interfaces em Orientação a Objetos	37
Código 17 – Interfaces em Programação Funcional	37
Código 18 – Interfaces em Orientação a Objetos	38
Código 19 – Interfaces em Programação Funcional	38
Código 20 – Factory Method Orientado a Objetos	41
Código 21 – Factory Method Funcional	42
Código 22 – Abstract Factory Orientado a Objetos	43
Código 23 – Abstract Factory Funcional	43
Código 24 – Builder Orientado a Objetos	44
Código 25 – Builder Funcional	44
Código 26 – Prototype Orientado a Objetos	45
Código 27 – Prototype Funcional	45
Código 28 – Singleton Orientação a Objetos	46
Código 29 – Injeção de Dependência funcional	47
Código 30 – Monad Reader	47
Código 31 – Adapter Orientado a Objetos	49
Código 32 – Adapter Funcional	50
Código 33 – Bridge Orientado a Objetos	51
Código 34 – Bridge Funcional	51
Código 35 – Composite Orientado a Objetos	52
Código 36 – Composite Funcional	52

Código 37 – Decorator Orientado a Objetos	53
Código 38 – Decorator Funcional	53
Código 39 – Façade Orientado a Objetos	54
Código 40 – Façade Funcional	54
Código 41 – Flyweight Orientado a Objetos	55
Código 42 – Flyweight Funcional	55
Código 43 – Proxy Orientado a Objetos	56
Código 44 – Proxy Funcional	56
Código 45 – Chain of Responsibility Orientação a Objetos	57
Código 46 – Chain of Responsibility Funcional	57
Código 47 – Command Orientação a Objetos	58
Código 48 – Command Funcional	58
Código 49 – Coleção de Commands Funcional	59
Código 50 – Command Reversível	59
Código 51 – Interpreter Orientação a Objetos	60
Código 52 – Interpreter Funcional	60
Código 53 – Iterator Orientação a Objetos	61
Código 54 – Iterator Funcional	61
Código 55 – Mediator Orientado a Objetos	62
Código 56 – Mediator Funcional	65
Código 57 – Memento Orientação a Objetos	67
Código 58 – Memento Funcional	67
Código 59 – Observer Orientação a Objetos	68
Código 60 – Observer Funcional	68
Código 61 – State Orientação a Objetos	69
Código 62 – State Funcional	70
Código 63 – Strategy Orientação a Objetos	71
Código 64 – Strategy Funcional	72
Código 65 – Strategy Funcional: Problema	72
Código 66 – Template Method Orientação a Objetos	74
Código 67 – Template Method Funcional	75
Código 68 – Template Method Funcional: Monads	76
Código 69 – Visitor Orientação a Objetos	77
Código 70 – Visitor Funcional	78

Sumário

I	INTRODUÇÃO	13
1	TRABALHOS RELACIONADOS	15
II	CONCEITOS BÁSICOS	17
2	O PARADIGMA FUNCIONAL	19
2.1	Funções Puras	19
2.2	Imutabilidade	20
2.3	Funções de Alta Ordem	21
2.4	Currying	22
2.5	Closures	22
2.6	Composição de Funções	23
3	PADRÕES DE PROJETO	25
3.1	Exemplo de padrão de projeto: Singleton	26
4	RESUMO DOS DEMAIS CAPÍTULOS	31
III	DESENVOLVIMENTO	33
5	ORIENTAÇÃO A OBJETOS NO CONTEXTO FUNCIONAL	35
5.1	Classes e Objetos	35
5.2	Encapsulamento	36
5.3	Interfaces	37
6	PADRÕES CRIACIONAIS	41
6.1	Factory Method	41
6.2	Abstract Factory	43
6.3	Builder	44
6.4	Prototype	45
6.5	Singleton	46
7	PADRÕES ESTRUTURAIS	49
7.1	Adapter	49
7.2	Bridge	51

7.3	Composite	52
7.4	Decorator	53
7.5	Façade	54
7.6	Flyweight	55
7.7	Proxy	56
8	PADRÕES COMPORTAMENTAIS	57
8.1	Chain of Responsibility	57
8.2	Command	58
8.3	Interpreter	60
8.4	Iterator	61
8.5	Mediator	62
8.6	Memento	67
8.7	Observer	68
8.8	State	69
8.9	Strategy	71
8.10	Template Method	74
8.11	Visitor	77
IV	RESULTADOS	79
9	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	83

Parte I

Introdução

1 Trabalhos Relacionados

Apesar de não existirem muitos trabalhos que envolvem relacionar padrões de projeto com o paradigma funcional, diversas revisões dos padrões GoF já foram feitas [1, 2, 3, 4, 5]. Essas revisões são orientadas tanto ao paradigma funcional - como neste trabalho - quanto a uma visão mais abrangente, que aproveita outros recursos e evoluções de linguagens de programação posteriores ao paradigma orientado a objetos como era conhecido quando os padrões GoF foram catalogados.

Alguns desses trabalhos serão apresentados a seguir. A maioria não se restringe aos padrões de projeto GoF, alguns inclusive propõem padrões baseados em conceitos de programação funcional.

Scott Wlaschin, em sua palestra "Functional Programming Design Patterns"[3], apresenta conceitos de programação funcional como combinação de funções, funções de alta ordem e mônadas. Em seguida, é demonstrado como esses recursos podem ser interpretados como padrões para solucionar problemas de design de software funcional.

Parte de uma série de artigos denominada "Functional Thinking", escritos por Neal Ford e disponibilizada no site da IBM [1], descreve como alguns padrões de projeto podem ser interpretados no contexto funcional e apresenta três possibilidades para essa interpretação: os padrões são absorvidos pelos recursos da linguagem; continuam existindo, porém possuindo uma implementação diferente; ou são solucionados utilizando recursos que outras linguagens ou paradigmas não possuem.

Em uma palestra disponibilizada no InfoQ [4], Stuart Sierra apresenta os "Clojure Design Patterns", onde alguns padrões GoF, entre eles Observer e Strategy, são revisitados a partir de um ponto de vista funcional. Porém, a maior parte da palestra propõe diversos padrões derivados do paradigma funcional.

Já a palestra "From GoF to lambda"[5], apresentada por Mario Fusco, demonstra como alguns dos padrões GoF podem ser revistos com o recurso de funções lambda que a linguagem Java passou a implementar a partir da versão 8.

Por fim, Peter Norvig apresenta "Design Patterns in Dynamic Languages"[2], que apesar de não ser focado no paradigma funcional, dedica-se a visitar alguns padrões de projeto GoF utilizando recursos de linguagens de programação dinâmicas.

Parte II

Conceitos Básicos

2 O Paradigma Funcional

Enquanto Alan Turing definia o que tornaria-se a Máquina de Turing, Alonzo Church trabalhava em uma abordagem diferente, o Cálculo Lambda[6, 7, 8]. Apesar de parecerem muito diferentes, o primeiro baseando-se na modificação do estado em uma fita e o segundo em aplicação de funções, ambas as ideias eram equivalentes no que diz respeito à computação[9]. O paradigma de programação funcional possui uma inspiração maior no cálculo lambda, o que deu origem aos conceitos que serão vistos a seguir.

2.1 Funções Puras

Funções puras operam apenas nos parâmetros fornecidos. Elas não leem ou escrevem em qualquer valor que esteja fora do corpo da função[10, 11]. Por exemplo:

```
def add(x, y){  
    return x + y;  
}
```

Código 1 – Exemplo de Função Pura

A função acima opera apenas nos valores x e y que são passados como parâmetro da função. A partir dessa restrição, algumas conclusões relevantes podem ser tiradas. Por exemplo, uma função pura sempre retornará o mesmo valor para os mesmos parâmetros: caso a função add acima receba os parâmetros 1 para x e 2 para y, não importa quantas vezes ela seja chamada, o resultado da operação sempre será 3[11].

Em seguida, um exemplo de função não pura:

```
var z = 10;  
  
def modify(x, y) {  
    z = x + y;  
}
```

Código 2 – Exemplo de Função Pura

Essa função não é pura pois ela depende de um valor externo - a variável z - para realizar uma operação. Existe ainda um outro problema com esse tipo de função: sua execução implica em um efeito colateral.

Efeitos colaterais ocorrem em consultas ou alterações a bases de dados, modificação de arquivos ou até mesmo envio de dados a um servidor[10, 11]. Também ocorrem quando

variáveis fora do escopo da função são modificadas ou lidas. Esse tipo de comportamento é muito comum em paradigmas de programação imperativos ou orientados a objetos, porém podem causar dificuldades no processo de debug de um código, afinal, se uma variável pode ser alterada em qualquer lugar, um valor errado que ela está assumindo pode estar vindo de qualquer lugar.

Apesar disso, um programa precisa realizar efeitos colaterais, como os já citados: leitura e escrita em arquivos ou bancos de dados, requisições em servidores, exibição em uma tela. Por isso, a ideia no design de software funcional não é apenas utilizar funções puras, mas concentrar os efeitos colaterais em um local isolado das funções puras, o que facilita o processo de debugging[10].

2.2 Imutabilidade

Em programação funcional, a ideia de variáveis não existe, ou ao menos possui uma definição diferente[12]. Em paradigmas procedurais é comum encontrarmos trechos de código parecidos com:

```
var x = 1;  
x = x + 1;
```

Código 3 – Exemplo de Código Mutável

Porém, esse tipo de operação não é permitida no paradigma funcional. Aqui é seguido o princípio da imutabilidade, onde uma variável ¹ que armazena um valor não pode ter esse valor alterado até o fim da execução do programa. Dessa forma, o código apresentado anteriormente não seria possível.

Em um programa funcional, a modificação do valor de uma variável é feita copiando o valor para uma nova variável que passará a representar esse valor[11]. Por exemplo, o código acima poderia ser escrito como:

```
var x = 1;  
z = x + 1;
```

Código 4 – Exemplo de Código Imutável

Isso pode parecer problemático quando é necessário modificar um único valor em uma lista ou uma estrutura maior e mais complexa. Porém, o compilador faz isso de uma forma mais eficiente, sem que seja necessário de fato copiar toda a estrutura[11]. Dessa forma, a imutabilidade está presente apenas durante a programação, impedindo que um

¹ Aqui, variável é entendida como um valor armazenado e não um valor variável.

valor seja alterado acidentalmente pelo programador ou de forma imprevista no caso de um programa multi-thread, por exemplo.

2.3 Funções de Alta Ordem

Funções de alta ordem são funções que recebem outras funções como parâmetro e ainda podem retornar funções[13, 11]. Esse é um recurso não tão comum em linguagens orientadas a objeto ou procedurais, mas não é exclusivo das linguagens funcionais. Javascript[14], Python[15] e C#[16] são alguns exemplos de linguagens que possuem suporte para funções de alta ordem.

Um bom exemplo de simplicidade do uso de funções de alta ordem é a função `map`[17]. Seu objetivo é aplicar uma função a todos os elementos de uma coleção e retornar a nova coleção resultante. Para que isso seja possível, a função `map` precisa receber como parâmetro a função que será aplicada. Por exemplo:

```
def add1(x){
    return x + 1;
}

let result = map(add1, [1, 2, 3, 4, 5]);
// O resultado dessa operação é a lista [2, 3, 4, 5, 6]
```

Código 5 – Exemplo de Função de Alta Ordem

Em uma linguagem que não aceita funções sendo passadas por parâmetro, uma operação simples como essa poderia tornar-se mais verbosa e menos legível:

```
def add1(x){
    return x + 1;
}

let mylist = [1, 2, 3, 4, 5]
let result = []

foreach(n : mylist) {
    result.push(add1(n))
}
```

Código 6 – Exemplo sem Funções de Alta Ordem

Talvez a implementação da função `map` seja parecida com a função acima, porém, um programador que não conhece o programa levaria muito menos tempo para entender a

primeira implementação do que a segunda. Além disso, para cada função diferente que poderia ser aplicada a essa mesma coleção, a mesma implementação teria que ser repetida.

2.4 Currying

Currying é uma técnica de programação funcional que permite que uma função com mais de um parâmetro seja chamada como se possuísse apenas um[13, 11]. Por exemplo, a função:

```
def add(x, y){  
  return x + y;  
}
```

Código 7 – Exemplo sem Currying

Poderia ser escrita da seguinte forma:

```
def add(x){  
  return y => x + y;  
}
```

Código 8 – Exemplo de Currying

Essa técnica simplifica a composição de funções que possuem quantidades diferentes de parâmetros. Normalmente, em linguagens funcionais não é necessário refatorar o código como foi feito acima, já que as funções implementam essa técnica nativamente[13].

2.5 Closures

Considerando a seguinte função:

```
def adder(x){  
  return y => x + y;  
}  
  
let add10 = adder(10)  
  
res = add10(5)  
// O resultado acima é 15
```

Código 9 – Exemplo de Closure

Nele, definimos uma função `adder` que recebe como parâmetro um valor `x` e retorna uma função que recebe como parâmetro outro valor `y`, retornando a soma dos dois valores.

A variável `add10` receberá o retorno da chamada da função `adder` para o valor 10. Com isso, `add10` será uma função que receberá como parâmetro um número e adicionará 10 a ele. Quando `add10` é chamada com o valor 5 sendo passado como parâmetro, o retorno da função é 15.

Para que isso seja possível, a função retornada por `adder` precisou ter acesso ao valor da variável `x` mesmo após o fim da execução de `adder`. Isso foi possível por a variável `x` estar dentro do escopo da função quando ela foi criada. Esse comportamento, que trás novas possibilidades para o retorno de funções, é chamado de *closure*[18].

2.6 Composição de Funções

Reuso de código é um objetivo desejável para qualquer paradigma de programação, e o paradigma funcional proporciona uma facilidade para isso através de composição de funções[13].

O código abaixo exemplifica esse recurso:

```
def add1(x){
    return x + 1
}

def mul2(x){
    return x * 2
}

def sub4(x){
    return x - 4
}

def add1ThenMul2ThenSub4(x) {
    return sub4(mul2(add1(x)))
}

let res = add1ThenMul2ThenSub4(1);
// 0 resultado da função é 0
```

Código 10 – Exemplo de Composição de Funções

É comum qualquer linguagem permitir esse tipo de comportamento. Entretanto, utilizar funções menores e mais simples para compor funções maiores e mais complicadas é uma forma de design comum em linguagens funcionais. Uma vantagem é que em linguagens funcionais as composições podem tornar-se mais legíveis utilizando funções de alta ordem

2.

```
let res = (sub4 compose mul2 compose add1)(1);  
// 0 resultado da função é 0
```

Código 11 – Exemplo de Composição de Funções

² Aqui, a função `compose` recebe as funções `add1` e `mul2` e retorna a composição delas. A função resultante é recebida como parâmetro de `compose` novamente, assim como a função `sub4`, resultando em uma função equivalente a `sub4(mul2(add1()))`

3 Padrões de Projeto

Durante o processo de desenvolvimento de software orientado a objetos, problemas de design são comuns durante a fase de projeto. Alguns desses problemas eram tão comuns que foi feito um esforço para catalogá-los em um livro [19] que oferece possíveis soluções para os mesmos. Essas soluções tornaram-se conhecidas como os Padrões de Projeto Gang of Four, abreviados para Padrões de Projeto GoF.

Por definição, um padrão de projeto é uma solução reutilizável para um problema comum de design. Apesar deste trabalho se restringir ao contexto de engenharia de software, o conceito foi introduzido pelo arquiteto Christopher Alexander no livro *A Pattern Language* [20].

Com foco no design orientado a objetos, hoje os padrões GoF estão entre os padrões de projeto de software mais conhecidos. Os responsáveis por compilá-los foram Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johson e John Vlissides, o que deu origem ao nome Gang of Four. Ao todo, vinte e três padrões foram catalogados, os mesmos que serão o alvo deste trabalho.

De acordo com o livro, um padrão possui quatro elementos essenciais: um nome, um problema, uma solução e suas consequências. O nome é uma característica importante por tornar mais fácil referenciar um padrão. O problema descreve a situação em que o padrão é aplicado e a solução descreve como um conjunto de elementos pode resolver o problema proposto. Já as consequências mostram as vantagens e desvantagens do uso do padrão para um problema.

Como forma de organizar os padrões, o livro os separa por finalidade e por escopo. A separação por finalidade divide os padrões entre padrões criacionais, destinados ao processo de criação de objetos, padrões estruturais, que lidam com a forma em que o conjunto de classes e objetos está disposto e padrões comportamentais, focados na forma em que classes e objetos comunicam-se e distribuem suas responsabilidades. A separação por escopo divide os padrões no escopo de classe ou de objeto, onde o primeiro lida com a relação entre classes e subclasses através de herança, enquanto o segundo lida com formas de relacionamento mais dinâmicas entre os objetos, como delegação. Os padrões nesse trabalho serão separados apenas por finalidade, porém características que remetem ao escopo podem ser consideradas durante a análise.

3.1 Exemplo de padrão de projeto: Singleton

A descrição de cada padrão no livro segue uma estrutura muito similar, utilizada principalmente para apresentar os quatro elementos essenciais mencionados anteriormente. Como exemplo para demonstrar a forma como o livro apresenta cada padrão, o padrão criacional Singleton será demonstrado com uma breve explicação de cada tópico. Uma descrição mais sucinta dos outros padrões será apresentada durante o desenvolvimento deste trabalho, onde serão considerados apenas os elementos essenciais dos padrões na análise a partir do paradigma funcional.

Intenção

A intenção é uma forma curta de descrever o que o padrão faz, qual é sua intenção e que problema ele busca resolver. O Singleton busca garantir que uma classe tenha apenas uma instância, acessível globalmente.

Motivação

Este tópico ilustra um problema e demonstra como a estrutura do padrão o soluciona, tornando mais simples a compreensão das descrições mais abstratas que vêm a seguir. Para o Singleton, é utilizado como exemplo o spooler de uma impressora, um sistema de arquivos ou um gerenciador de janelas. Para todos esses casos, apenas um objeto precisa existir, ou seja, uma classe que representa algum desses elementos só precisa possuir uma instância de fácil acesso. É proposto tornar a própria classe responsável por gerenciar essa instância, garantindo que nenhum outra instância dela mesma seja criada e garantindo um meio de acesso a essa única instância.

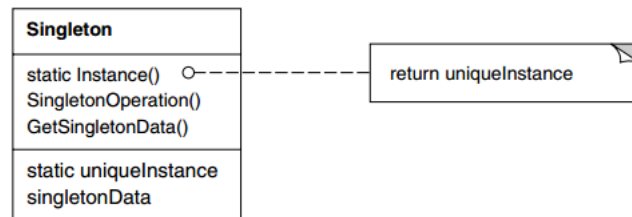
Aplicabilidade

A aplicabilidade descreve situações nas quais o padrão pode ser aplicado, exemplos de maus projetos que ele pode ajudar a tratar e ainda como reconhecer essas situações. No caso do Singleton, ele é utilizável quando for necessário possuir apenas uma instância de uma classe através de um ponto de acesso conhecido e quando essa única instância precisa ser extensível através de subclasses.

Estrutura

A estrutura apresenta o padrão graficamente, através de uma notação baseada na Object Modeling Technique (OMT) e às vezes em diagramas de interação. No caso do Singleton, apenas o seguinte diagrama é utilizado:

Figura 1 – Estrutura do Singleton utilizada como exemplo



Fonte: [19]

Participantes

Descreve as responsabilidades de cada classe que participa do padrão. Neste caso, existe apenas uma: o próprio Singleton, que define a operação de classe Instance, permitindo aos clientes acessarem sua única instância. Também pode ser o responsável por criar sua própria instância única.

Colaborações

Este tópico explica como as classes participantes colaboram para executar as responsabilidades especificadas. Para o Singleton, os clientes (ou seja, os objetos que o acessam) acessam a instância única pela operação Instance.

Consequências

As consequências descrevem os custos e benefícios para que o padrão possa realizar seu objetivo, além dos aspectos da estrutura de um sistema que ele permite variar independentemente. O Singleton enumera cinco benefícios:

Primeiro, acesso controlado à instância única, já que a única instância é encapsulada dentro da classe Singleton, ela possui controle total de como e quando ela pode ser acessada pelos clientes.

Segundo, espaço de nomes reduzido. Uma alternativa para o Singleton talvez fosse o uso de variáveis globais, porém o padrão evita que o espaço de nomes seja poluído com variáveis globais que utilizam instâncias únicas.

Terceiro, ele permite um refinamento de operações e da representação, ou seja, permite ao Singleton ter subclasses.

Quarto, permite um número variável de instâncias. Nesse caso, o padrão permite que, após ele ser implementado, seja simples mudar de ideia e a própria classe Singleton, dentro da operação Instance, volte a permitir um número indefinido ou até controlado de instâncias.

Quinto, é mais flexível do que operações de classe. Além das variáveis globais, operações de classe seriam outra alternativa para o Singleton, porém isso tornaria mais difícil voltar a ter mais de uma instância da classe, além de impedir, em certas linguagens, que subclasses redefinam operações estáticas polimorficamente.

Implementação

Explicita sugestões, técnicas ou riscos que devem ser conhecidos durante a implementação do padrão, além de considerações específicas de algumas linguagens. Para o Singleton, existem duas explicações de implementação.

A primeira refere-se à garantia da existência de apenas uma instância, onde é sugerido tornar a operação de criação do Singleton em uma operação de classe que possui acesso a um atributo que armazena a instância do Singleton, caso já exista. A segunda trata da criação de subclasses da classe Singleton, onde é sugerido registrar cada instância por nome para que uma classe cliente possa acessar o singleton desejado sem precisar conhecer todas as instâncias existentes. Ambas as implementações são exemplificadas na seção de exemplo de código.

Exemplo de Código

Como o nome já diz, demonstra o padrão através de um exemplo em código. O exemplo do Singleton é um construtor de labirintos, onde a classe que é responsável pela fabricação dos labirintos necessita de apenas uma instância. O código 12 apresenta a implementação do padrão sem o uso de subclasses, enquanto o código 13 apresenta uma versão com o uso de subclasses, onde as subclasses referenciadas são BombedMazeFactory e EnchantedMazeFactory. Ambos estão na linguagem C++ e foram retirados do livro, porém a implementação pode ser feita de forma equivalente em qualquer linguagem orientada a objetos.

```
class MazeFactory {
public:
    static MazeFactory* Instance();

    // interface existente vai aqui
protected:
    MazeFactory();
private:
    static MazeFactory* _instance;
};

// implementação:
```

```

MazeFactory* MazeFactory::_instance = 0;

MazeFactory* MazeFactory::Instance () {
    if (_instance == 0) {
        _instance = new MazeFactory;
    }
    return _instance;
}

```

Código 12 – Exemplo de Singleton sem subclasses

Fonte: [19]

```

MazeFactory* MazeFactory::Instance () {
    if (_instance == 0) {
        const char* mazeStyle = getenv("MAZESTYLE");

        if (strcmp(mazeStyle, "bombed") == 0) {
            _instance = new BombedMazeFactory;
        } else if (strcmp(mazeStyle, "enchanted") == 0) {
            _instance = new EnchantedMazeFactory;

            // ... outras subclasses possíveis

        } else { // default
            _instance = new MazeFactory;
        }
    }
    return _instance;
}

```

Código 13 – Exemplo de Singleton com subclasses

Fonte: [19]

Usos Conhecidos

Demonstra usos desse padrão em sistemas reais. No caso do Singleton, é mencionado o relacionamento entre classes e suas metaclasses. Um exemplo atual de uso de Singleton é a ferramenta de injeção de dependência do .NET Core, onde um serviço pode comportar-se como um Singleton[21].

Padrões Relacionados

Os padrões relacionados apresentam padrões que possuem alguma relação ou que podem ser usados juntos do padrão proposto. São mencionados padrões que podem ser implementados utilizando o Singleton, que são o AbstractFactory, o Builder e o Prototype.

4 Resumo dos demais capítulos

Na parte de desenvolvimento, haverá uma introdução sobre como alguns conceitos de orientação a objetos, como classes e encapsulamento, podem ser representados em uma linguagem funcional. Em seguida, os capítulos serão divididos entre padrões criacionais, estruturais e comportamentais. Ao todo, os vinte e três padrões GoF serão abordados nesses três capítulos, onde serão apresentadas as ideias básicas do problema que o padrão busca resolver e como o resolve, seguido da abordagem funcional de resolver o mesmo problema.

Após analisar todos os padrões, o capítulo de resultados analisará as vantagens e desvantagens da abordagem funcional para cada solução, destacando onde ela contribuiu, onde atrapalhou, ou onde não fazia sentido ser implementada. Essas classificações dependerão das análises que serão realizadas na etapa de desenvolvimento.

Por fim, no capítulo de conclusão serão analisadas as consequências dessas análises e como elas podem impactar o conceito de padrões de projeto e as vantagens e desvantagens de revisá-los no ponto de vista funcional.

Parte III

Desenvolvimento

5 Orientação a Objetos no Contexto Funcional

Parte dos padrões de projeto que serão analisados usam ou dependem de conceitos de orientação a objetos como classes ou encapsulamento, o que torna necessário realizar um mapeamento desses conceitos para o paradigma funcional. A intenção desse mapeamento não é implementar orientação a objetos em uma linguagem funcional, mas entender qual é a utilidade de cada um desses conceitos e quais recursos em programação funcional podem oferecer essa mesma utilidade.

5.1 Classes e Objetos

Um objeto pode ser definido como uma representação do mundo real que possui características e comportamentos, enquanto uma classe é uma abstração dessa representação que define quais características e comportamentos um objeto deve possuir[22]. Essas características e comportamentos são representados em orientação a objetos como atributos e métodos, respectivamente. O código 14 demonstra uma classe que possui os atributos `name` e `age`, além dos métodos `getName`, `setName`, `getAge` e `setAge`, que realizam operações sobre esses atributos.

```
class Person(var name : String, var age : Int){  
  
    def getName() : String = this.name  
  
    def setName(name : String) : Unit = this.name = name  
  
    def getAge() : Int = this.age  
  
    def setAge(age : Int) : Unit = this.age = age  
  
}
```

Código 14 – Classe comum em Orientação a Objetos

Dessa forma, é necessário definir uma estrutura em programação funcional que possua características e funções que operam sobre essas características. Um recurso da linguagem Scala que pode agrupar as características é a *case class*, uma estrutura de dados imutável que pode definir valores nomeados, da mesma forma que uma classe[11]. ¹

¹ As *case classes* em Scala são um *syntactic sugar* para classes imutáveis, portanto estruturas semelhantes

Para representar os métodos de uma classe em uma linguagem funcional, já que nossa estrutura de dados imutável não armazena funções² e já que é necessário que nossas funções sejam puras, uma abordagem de implementação desses métodos é definir funções que recebam como parâmetro um valor do tipo definido em nossa estrutura de dados imutável. Seguindo esses dois princípios, uma versão funcional da classe apresentada no código 14 pode ser vista no código 15.

```
case class Person(name: String, age: Int)

def getName(person : Person) : String = person.name

def setName(person : Person, name : String) : Person =
    person.copy(name = name)

def getAge(person : Person) : Int = person.age

def setAge(person : Person, age : Int) : Person =
    person.copy(age = age)
```

Código 15 – Representação de uma classe no contexto funcional

5.2 Encapsulamento

A abordagem da seção anterior implementa classes e objetos, porém precisa ser reavaliada para que possa levar em consideração o encapsulamento. Encapsulamento pode ser definido como uma forma de limitar o acesso a um conjunto de dados ou comportamentos de um objeto [23]. A motivação para isso pode vir tanto da necessidade de concentrar as alterações externas que um objeto pode sofrer em apenas um lugar quanto evitar que esse objeto assuma um estado que não deveria ser representado.

Com a ideia de imutabilidade, pode-se assumir que um valor não será alterado em partes diferentes de uma aplicação, mas é possível que funções responsáveis por criar ou modificar³ um valor de um determinado tipo estejam espalhadas pela aplicação, facilitando uma situação em que um estado que não deveria ser representável por esse valor seja criado. Dessa forma, implementar alguma forma de encapsulamento ainda é importante no contexto funcional.

não serão encontradas em muitas linguagens funcionais. Porém, para o propósito desse mapeamento, qualquer estrutura de dados imutável que possa guardar qualquer quantidade de valores, como uma tupla, possui a mesma utilidade.

² Apesar de não ser uma abordagem utilizada neste trabalho, é possível armazenar funções nessas estruturas.

³ Uma função que modifica um valor é entendida como uma função que recebe um valor existente por parâmetro e retorna um novo valor do mesmo tipo.

Existe mais de uma abordagem que torna possível implementar o encapsulamento em linguagens funcionais, entre elas o uso de closures[24] ou de GADTs - *Generalized Algebraic Data Types*[25]. Porém, a abordagem utilizada neste trabalho levará em consideração os módulos do sistema ML, já que eles possibilitam esconder informações, o que será utilizado para esconder a forma como nossos tipos são criados ou modificados[26].

5.3 Interfaces

[Explicação do que é uma interface aqui]

Existe mais de uma alternativa para as interfaces e elas dependem da situação na qual a interface é utilizada. Considerando o código 16, a interface é necessária para garantir que as classes `InterfaceUserA` e `InterfaceUserB` possuam a operação `operation`, que recebe como parâmetro um valor do tipo inteiro e retorna outro valor inteiro.

```
trait InterfaceUser {  
    def operation(x : Int) : Int  
}  
  
class InterfaceUserA extends InterfaceUser {  
    def operation(x : Int) : Int = x + 1  
}  
  
class InterfaceUserB extends InterfaceUser {  
    def operation(x : Int) : Int = 2*x  
}  
  
def runInterface(x : Int, interfaceUser : InterfaceUser) : Int {  
    return interfaceUser.operation(x)  
}
```

Código 16 – Interfaces em Orientação a Objetos

Utilizando funções de alta ordem e levando em consideração que as funções que representam nossos métodos não estão encapsulados em classes e não dependem de atributos, podemos substituir o objeto sendo passado por parâmetro na função `runInterface` por uma função qualquer que recebe como parâmetro um valor inteiro e retorna outro valor inteiro. Essa alternativa pode ser vista no código 17.

```
def operation1(x : Int) : Int = x + 1  
  
def operation(x : Int) : Int = 2*x  
  
def runInterface(x : Int, operation : (Int => Int)) =
```

```
operation(x)
```

Código 17 – Interfaces em Programação Funcional

Outra situação em que interfaces são necessárias é quando deseja-se especificar um tipo ao qual dois tipos diferentes pertencem em comum. Por exemplo, no código 18 a função `makeAnimalSound` deve receber apenas objetos do tipo `Animal`, ou seja, que implementem a interface `Animal`.

```
trait Animal {  
    def makeSound() : Unit  
}  
  
class Dog {  
    var dogSound = "Bark bark!"  
  
    def makeSound() : Unit {  
        print(dogSound)  
    }  
}  
  
class Cat {  
    var catSound = "Meow!"  
  
    def makeSound() : Unit {  
        print(catSound)  
    }  
}  
  
def makeAnimalSpeak(animal : Animal) {  
    animal.makeSound()  
}
```

Código 18 – Interfaces em Orientação a Objetos

Linguagens de programação funcionais podem recorrer às *typeclasses*⁴, que definem um tipo em comum para tipos diferentes. Esse recurso pode ser acompanhado de mais funcionalidades, como exigir que seus membros implementem certas operações - o que o torna mais semelhante ainda a uma interface - porém, esse recurso não será utilizado neste trabalho. O código 19 demonstra seu uso.

```
trait Animal  
case class Dog(val dogSound = "Bark bark!") extends Animal  
def makeDogSound(dog : Dog) : Unit = print(dog.dogSound)
```

⁴ No caso de Scala, elas recebem o nome `trait`, o mesmo utilizado para declarar interfaces.


```
case class Cat(val catSound = "Meow!") extends Animal
def makeCatSound(cat : Cat) : Unit = print(cat.catSound)

def makeAnimalSpeak(animal : Animal, soundOperation : (Animal =>
Unit)) =
    soundOperation()

makeAnimalSpeak(dog, makeDogSound)
makeAnimalSpeak(cat, makeCatSound)
```

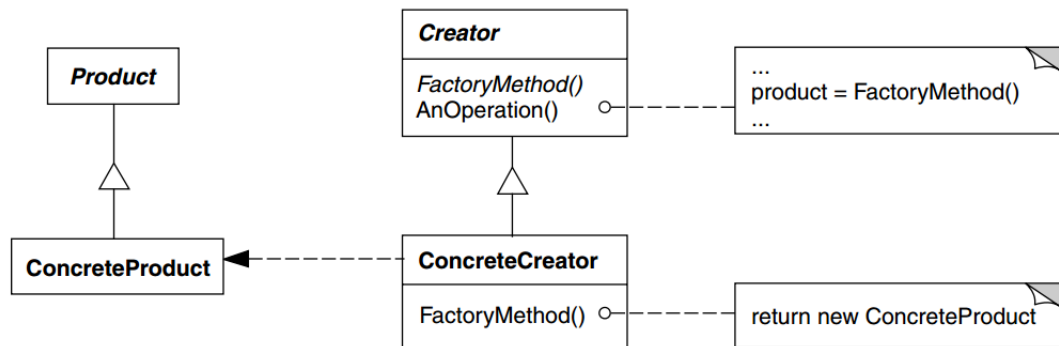
Código 19 – Interfaces em Programação Funcional

6 Padrões Criacionais

6.1 Factory Method

O padrão Factory Method tem como objetivo oferecer, através de uma classe Factory, uma interface para a criação de objetos. Esses objetos, porém, podem ser configurados através de classes que herdam de Factory.

Figura 2 – Estrutura do Factory Method



Exemplo Orientado a Objetos:

```
trait Product{
  def doStuff() : Unit
}

class ConcreteProduct extends Product(){

  def doStuff() : Unit = {

  }
}

abstract class Creator(){

  def someOperation() : Unit = {
    var p = createProduct()
    p.doStuff()
  }

  def createProduct() : Product
}
```

```
class ConcreteCreator() extends Creator{  
  
    def createProduct() : Product = {  
        return new ConcreteProduct()  
    }  
}
```

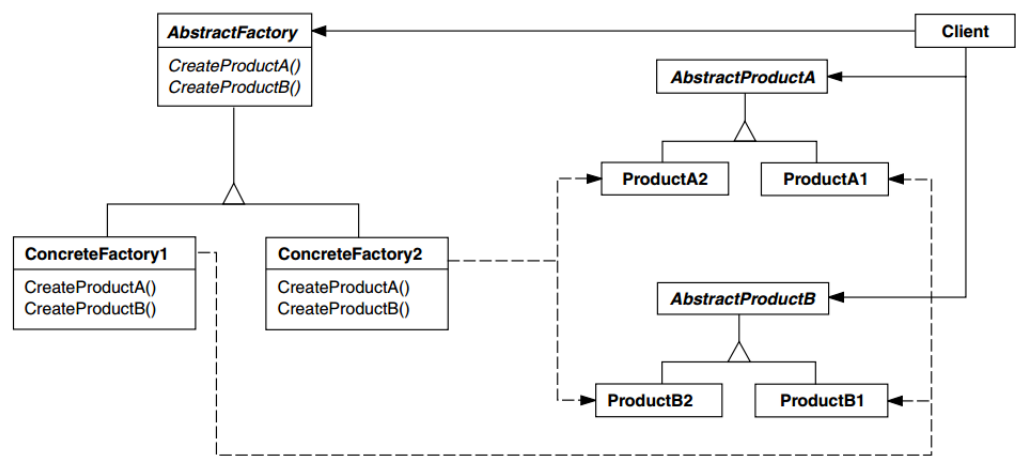
Código 20 – Factory Method Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

Código 21 – Factory Method Funcional

6.2 Abstract Factory

Figura 3 – Estrutura do Abstract Factory



Exemplo Orientado a Objetos:

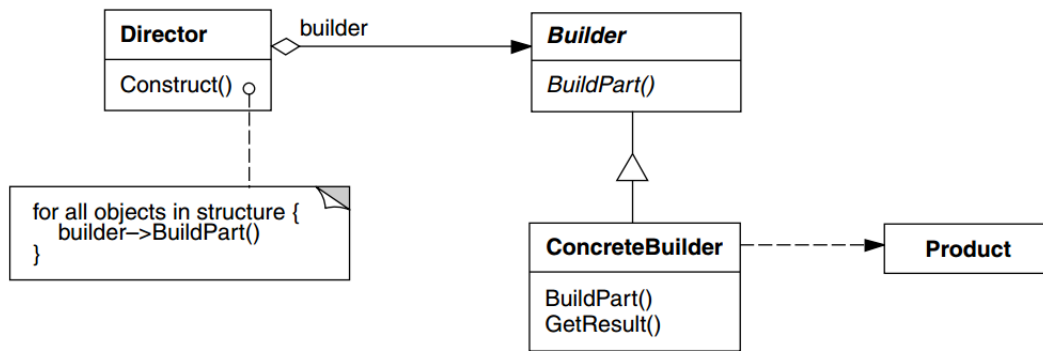
Código 22 – Abstract Factory Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

Código 23 – Abstract Factory Funcional

6.3 Builder

Figura 4 – Estrutura do Builder



Exemplo Orientado a Objetos:

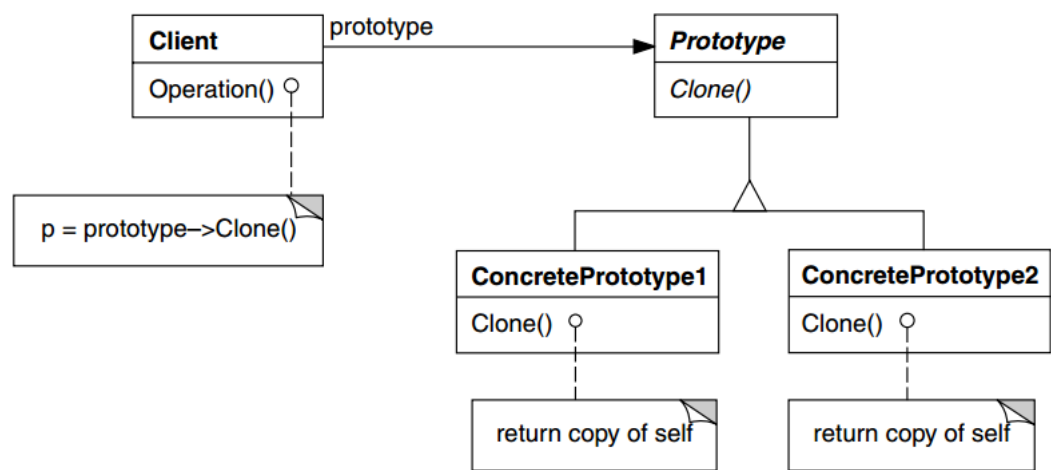
Código 24 – Builder Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

Código 25 – Builder Funcional

6.4 Prototype

Figura 5 – Estrutura do Prototype



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 26 – Prototype Orientado a Objetos

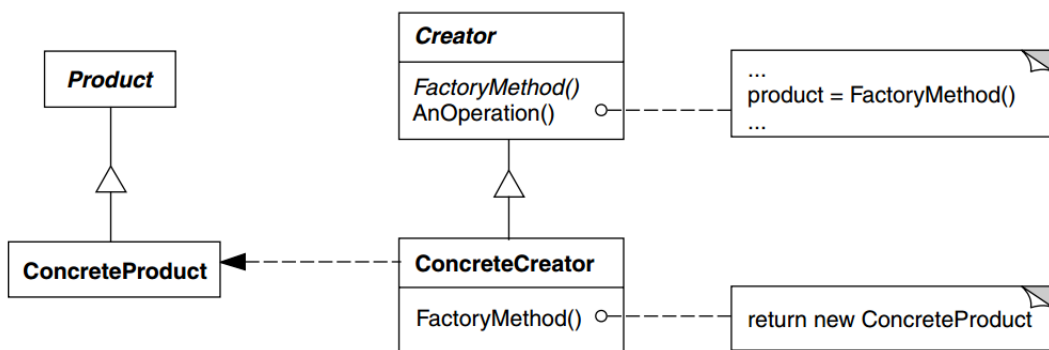
Contexto Funcional:

Código 27 – Prototype Funcional

6.5 Singleton

O padrão Singleton fornece um ponto de acesso global a um objeto e garante que ele possuirá apenas uma instância. Esse padrão é importante para implementar serviços e oferecer acesso a eles sem instanciar vários objetos iguais em diversos pontos diferentes do código.

Figura 6 – Estrutura do Singleton



Exemplo Orientado a Objetos:

```
class Database private () {
    def query(sql)
}

object Database {
    private val _instance = new Database()
    def instance() = _instance
}
```

Código 28 – Singleton Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

Não existe uma forma de implementar o Singleton no contexto funcional por que ele viola o conceito de função pura, ou seja, a função não está mais dependendo apenas de seus parâmetros, mas também de um valor global que ainda pode ter seu estado modificado.

Porém, ainda existem formas de alcançar seu objetivo, ou seja, oferecer acesso a um serviço em diversos locais do código sem a necessidade de repeti-lo. A primeira forma é usando um conceito que não é exclusivamente funcional, já que até no contexto orientado a

objetos é considerado um bom substituto para o Singleton. Porém, por ser uma abordagem também utilizada por programas que seguem o paradigma funcional e consequentemente por não violar o paradigma, será mencionado como uma possível solução.

A abordagem consiste no uso da Injeção de Dependência, onde a criação de recurso utilizado por uma função ou objeto não é responsabilidade da mesma, ao invés disso, esse recurso é injetado, seja pelo construtor (no caso da orientação a objetos) ou por parâmetros de uma função (no caso do paradigma funcional).

Código 29 – Injeção de Dependência funcional

A segunda abordagem consiste na utilização de um Monad conhecido como Reader. As funções que precisam utilizar um determinado serviço são encapsuladas em um Monad. O estado desse serviço será acessável dentro dessas funções e sempre que suas execuções terminarem, o novo estado do serviço será retornado. Dessa forma, a próxima função que deseja utilizar o serviço poderá usufruir do estado atualizado.

Código 30 – Monad Reader

Essa abordagem tem algumas vantagens se comparada à injeção de dependência: Suponha que três funções são encadeadas em um programa. A primeira e a terceira precisarão utilizar o serviço que é injetado através dos parâmetros. A segunda função, mesmo sem utilizar o serviço, precisará recebê-lo em seus parâmetros para que ele seja passado para a terceira função. Isso diminui a reusabilidade dessa função, que poderia ser reaproveitada em um contexto onde o serviço não é necessário. Também há a poluição visual ao incluir, em diversas funções, parâmetros diferentes para fornecer os serviços. Em casos em que mais de um serviço é utilizado, a situação torna-se ainda mais caótica.

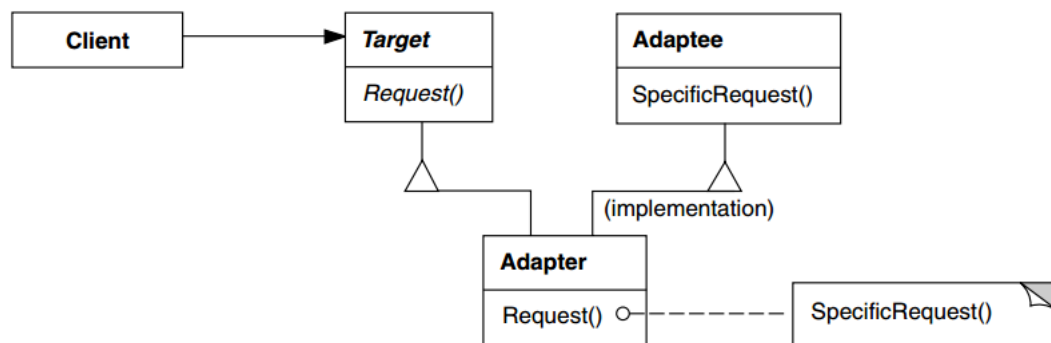
7 Padrões Estruturais

7.1 Adapter

Quando a interface de uma classe, objeto ou biblioteca não é compatível com a interface atual do cliente que deseja utilizar essa interface, o padrão Adapter fornece uma solução que evita a refatoração e a dependência da interface do cliente para a interface desejada.

Existem duas formas de realizar essa adaptação. Um Adapter de classe, que só é possível para linguagens que implementam herança múltipla, implementa uma classe que herda tanto da classe que representa a interface da aplicação quanto da classe que representa a interface que deseja ser utilizada.

Figura 7 – Estrutura do Adapter de Classe



Já o Adapter de Objeto herda apenas da classe que representa a interface da aplicação e reimplementa a operação desejada de forma que, após adaptar para a operação para a interface desejada, delega a realização da mesma para um objeto que implemente essa interface.

Exemplo Orientado a Objetos:

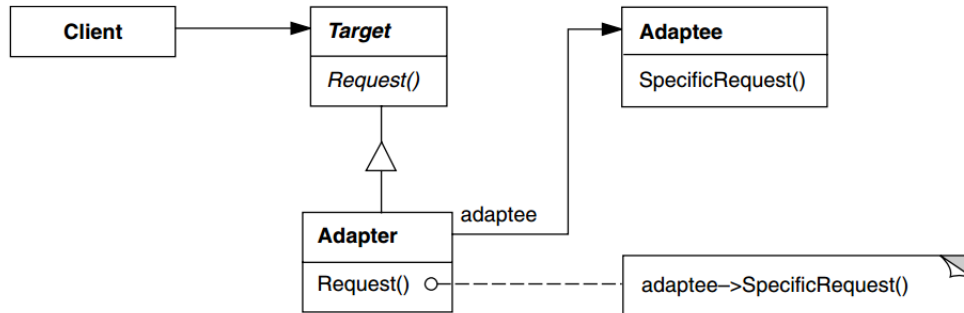
Código 31 – Adapter Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

Existem duas formas simples de implementar um Adapter em uma linguagem funcional: usando funções de alta ordem e composição de funções.

Através de funções de alta ordem é possível passar por parâmetro, quando necessário, uma função que adapta o valor definido no cliente para o valor que precisa ser recebido

Figura 8 – Estrutura do Adapter de Objeto



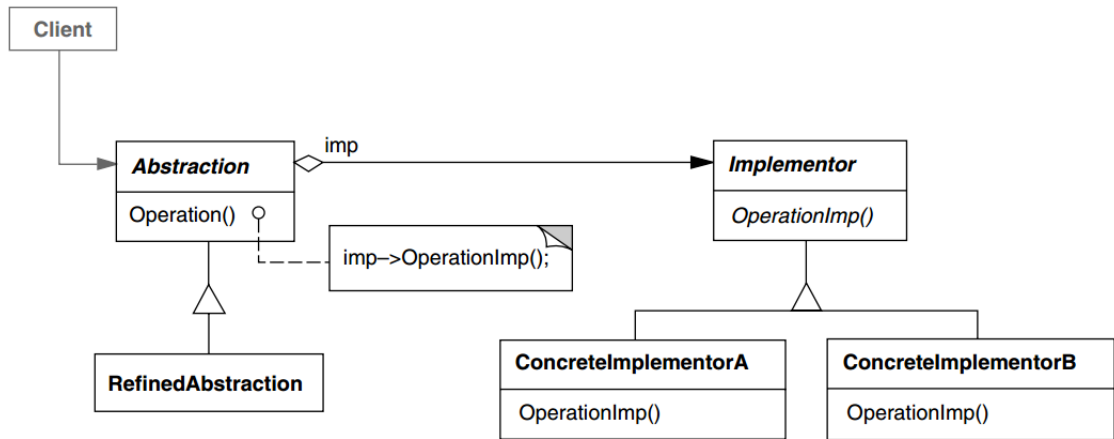
pela função incompatível. O problema dessa abordagem é a necessidade do cliente conhecer a função Adapter e a biblioteca.

Já com composição de funções, uma função composta da função Adapter e da função incompatível é fornecida para o cliente, que sem precisar saber que está usando um Adapter, pode realizar a operação incompatível sem problemas.

Código 32 – Adapter Funcional

7.2 Bridge

Figura 9 – Estrutura do Bridge



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 33 – Bridge Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

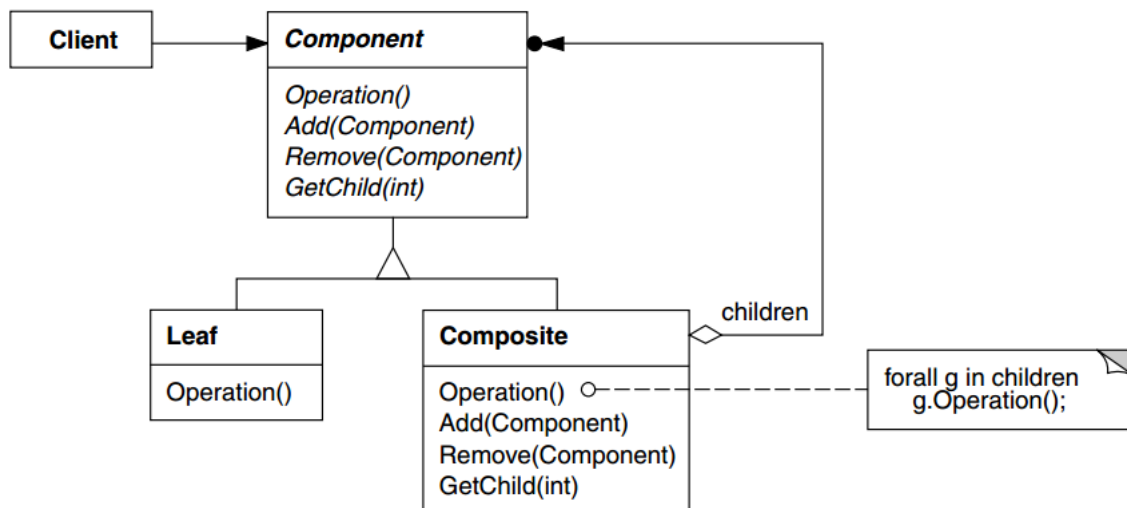
Código 34 – Bridge Funcional

7.3 Composite

Esse padrão fornece uma estrutura de objetos organizados como uma árvore, representados através de uma hierarquia. Dessa forma, é possível tratar tanto o conjunto quanto os objetos individualmente, não sendo necessário conhecer todos os objetos pertencentes ao conjunto para tratar do mesmo.

Para alcançar isso, uma interface que representa um componente é implementada por uma classe "Folha", ou seja, um elemento não-composto e por uma classe Composite, ou seja, um elemento que também é um conjunto de outros elementos. Um Composite não sabe se os elementos que o compõem são também instâncias de Composite ou se são elementos folha, pois os elementos são apenas instâncias de Component.

Figura 10 – Estrutura do Composite



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 35 – Composite Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

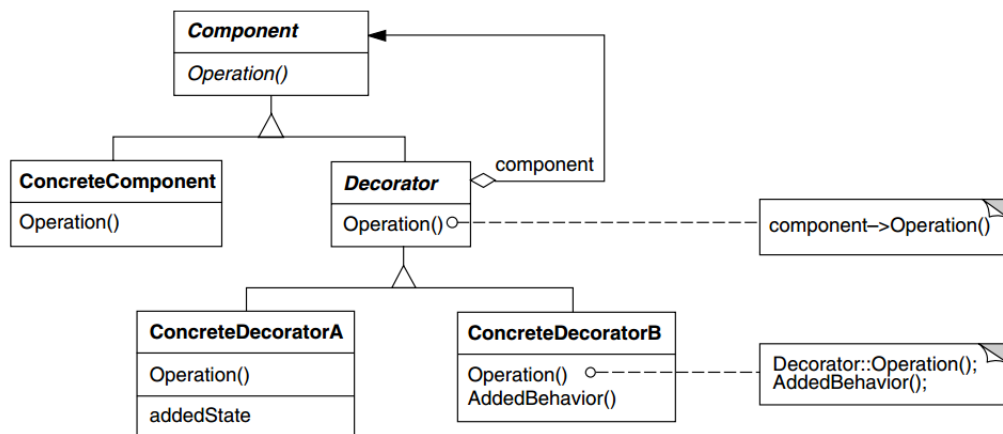
Código 36 – Composite Funcional

7.4 Decorator

O padrão Decorator permite adicionar responsabilidades a um objeto de forma dinâmica. Essa dinamicidade é alcançada substituindo a herança por uma agregação, permitindo que a classe decorada delegue responsabilidades para as classes que a estendem. As classes de extensão implementam uma mesma interface que as classes decoradas e possuem um objeto dessa mesma classe entre seus atributos. Dessa forma, uma classe de extensão pode tanto referenciar outra classe de extensão quanto o objeto decorado, formando uma estrutura de pilha onde o elemento ao fundo é o objeto decorado que será o alvo das operações de todos os extensores presentes na estrutura.

O maior problema resolvido pelo Decorator é a grande quantidade de classes que deveriam existir caso houvessem muitas extensões para uma classe. O problema cresce ainda mais quando é necessário que essas funcionalidades mudem dinamicamente, gerando diversas combinações de grupos de funcionalidades possíveis.

Figura 11 – Estrutura do Decorator



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 37 – Decorator Orientado a Objetos

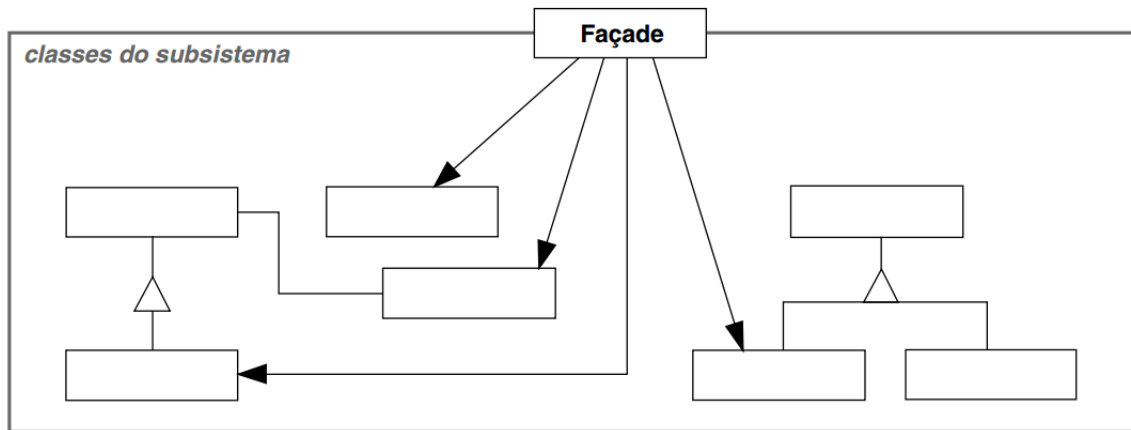
Contexto Funcional:

O mesmo objetivo é alcançado de forma simples através de composição de funções. Caso um valor precise ser decorado com diversas funções, uma função recebe esse valor como parâmetro e uma lista com todas as funcionalidades que irão estendê-lo. Essas funções são então chamadas uma por uma, gerando também uma pilha de chamadas que finalmente retorna o resultado da combinação de todas as operações.

Código 38 – Decorator Funcional

7.5 Façade

Figura 12 – Estrutura do Façade



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 39 – Façade Orientado a Objetos

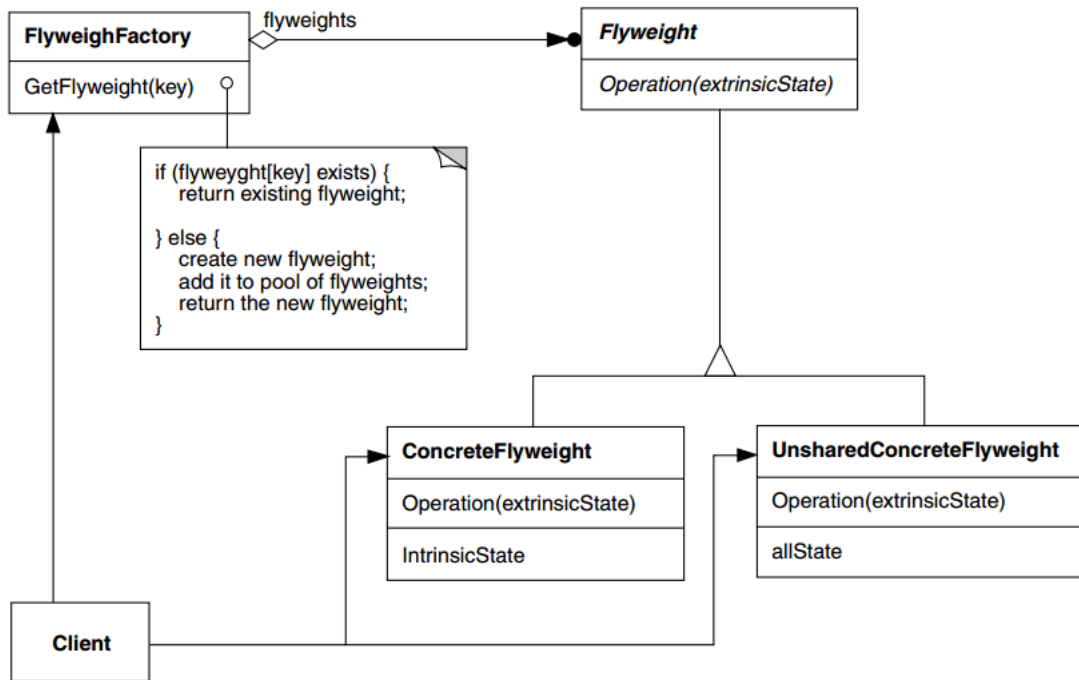
Contexto Funcional:

Código 40 – Façade Funcional

7.6 Flyweight

O padrão Flyweight permite economizar o espaço em memória da aplicação ao fornecer uma instância compartilhada de uma classe, para que ela não precise ser instanciada diversas vezes.

Figura 13 – Estrutura do Flyweight



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 41 – Flyweight Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

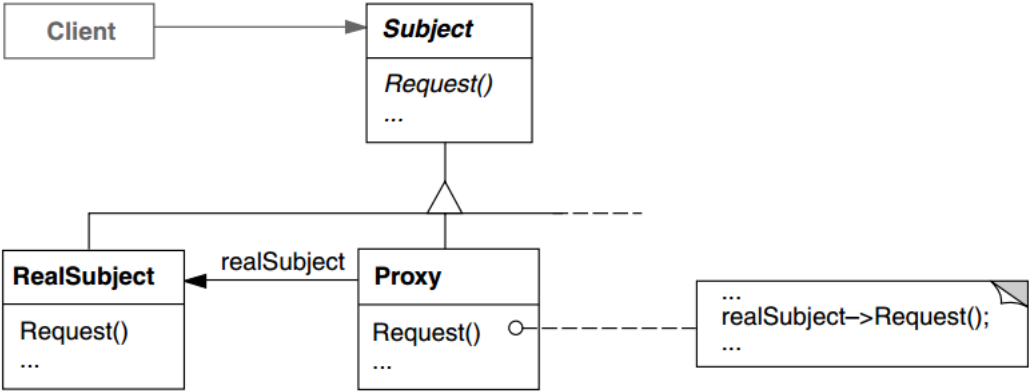
A ideia do Flyweight assemelha-se à de memoização, onde o retorno de uma função pura é armazenado para que seu valor não precise ser recalculado quando os mesmos parâmetros são passados. Essa abordagem só é possível para funções puras pois, caso ocorram efeitos colaterais ou a função dependa de dados externos, o resultado pode ser diferente para os mesmos parâmetros, gerando um resultado não confiável.

Apesar da ideia de memoização parecer mais focada no tempo de execução do que no espaço em memória, dependendo da implementação é possível economizar ambos.

Código 42 – Flyweight Funcional

7.7 Proxy

Figura 14 – Estrutura do Proxy



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 43 – Proxy Orientado a Objetos

Contexto Funcional:

Código 44 – Proxy Funcional

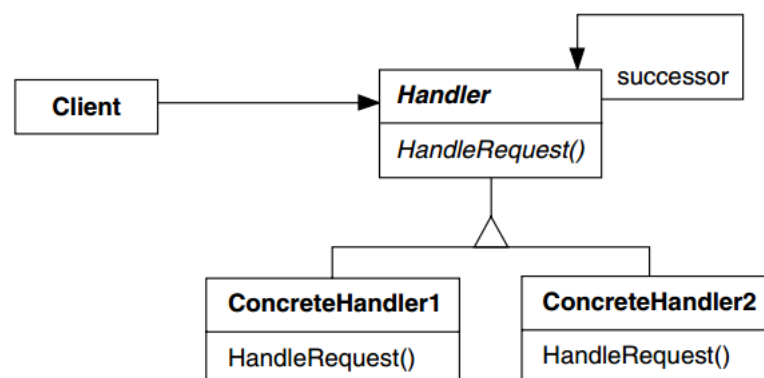
8 Padrões Comportamentais

8.1 Chain of Responsibility

Chain of Responsibility propõe criar uma estrutura de classes chamadas de Handlers para receber e tratar solicitações de um objeto cliente. A ideia é que essa solicitação seja passada ao longo da cadeia até que um dos handlers consiga tratá-la ou retorne algum tipo de erro caso a solicitação não possa ser atendida.

Essa abordagem é muito útil quando o objeto que pode tratar a solicitação não é conhecido, tornando o processo de descoberta automático, além de permitir que os Handlers sejam definidos dinamicamente.

Figura 15 – Estrutura do Chain of Responsibility



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 45 – Chain of Responsibility Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

Dependendo da abordagem do problema, alguns tipos de Monads podem ser usados para resolvê-lo. Basta encapsular a solicitação em um Monad e fazê-la passar pelos Handlers, que agora seriam funções, até que a solicitação seja tratada. Em um exemplo em que é desejado que a cadeia de solicitação seja interrompida assim que um problema for encontrado, a opção mais indicada é o Monad Option. Um Option pode retornar algum valor (**Some x**) ou nenhum valor (**None**). Se alguma das operações retornar **None**, a cadeia é interrompida e os handlers seguintes não são executados.

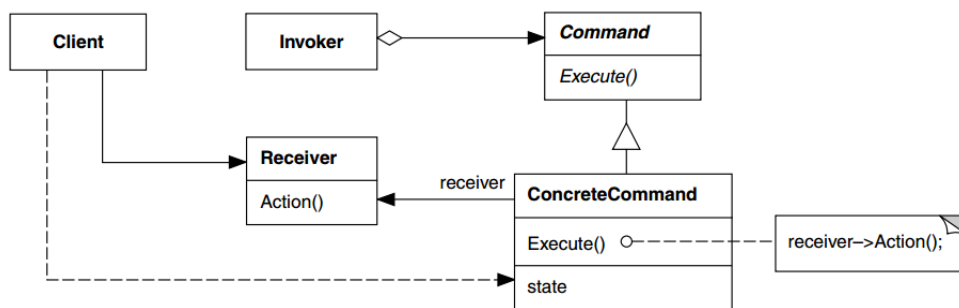
Código 46 – Chain of Responsibility Funcional

8.2 Command

O padrão Command permite encapsular operações em objetos de forma que elas possam ser registradas, enfileiradas e até desfeitas. Para isso, a classe Command armazena o objeto alvo da operação quando é instanciada e apresenta a operação de execução e de reversão. Vários Commands podem ser armazenados em outra classe que armazena uma coleção de Commands, que também é responsável por executá-los.

Esse padrão funciona como uma solução para definir callbacks, ou seja, operações que podem ser definidas e executadas futuramente no código.

Figura 16 – Estrutura do Command



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 47 – Command Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

Por possuir uma definição abrangente com características que nem todo domínio utiliza (como enfileiramento de commands, operações reversíveis), existe diversas formas de implementar o Command. A mais simples, onde é necessário apenas implementar uma operação que pode ser chamada em um momento futuro do código, é possível através do uso de funções de alta ordem. Uma função é definida para receber como parâmetro o valor alvo da operação e uma função que receba como parâmetro o valor e retorne um novo valor do mesmo tipo modificado:

Código 48 – Command Funcional

Caso seja necessário armazenar diversos Commands em uma lista para que eles sejam executados depois, basta que a função receba como parâmetro apenas a função que realizará a operação, retornando uma nova função que deve receber como parâmetro o valor alvo da operação. Dessa forma, todos os commands gerados são armazenados em uma coleção, por exemplo, uma lista, e os commands são aplicados sequencialmente em

um valor de entrada, onde o valor de saída de uma função é a entrada para a próxima, como um pipeline:

Código 49 – Coleção de Commands Funcional

Implementar a operação de reversão pode ser uma tarefa mais complicada. [finalizar para incluir a operação de reversão]

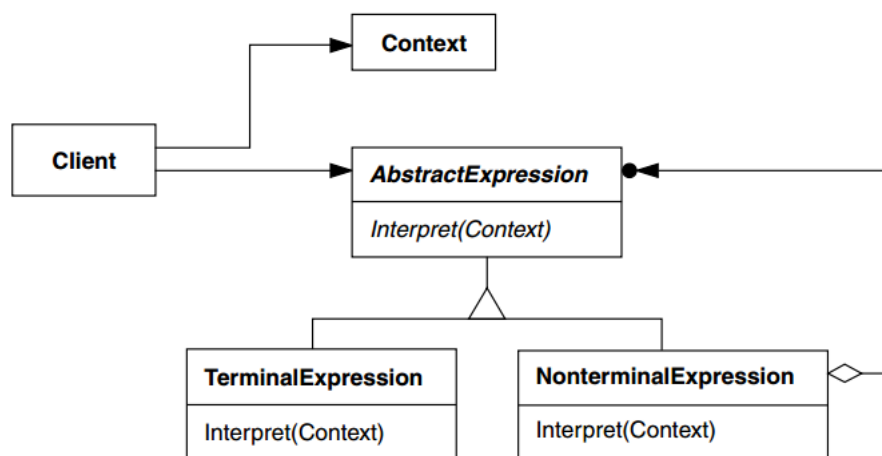
Código 50 – Command Reversível

8.3 Interpreter

De acordo com GoF, o Interpreter define uma representação para a gramática de uma linguagem e usa um interpretador para interpretar sentenças dessa linguagem.

Apesar da definição parecer específica, o padrão pode ser generalizado para qualquer hierarquia de classes, desde que não seja muito complexa. Dessa forma, o padrão permite interpretar essa hierarquia e realizar uma operação que dependa da forma como essas classes estão dispostas, por exemplo.

Figura 17 – Estrutura do Interpreter



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 51 – Interpreter Orientação a Objetos

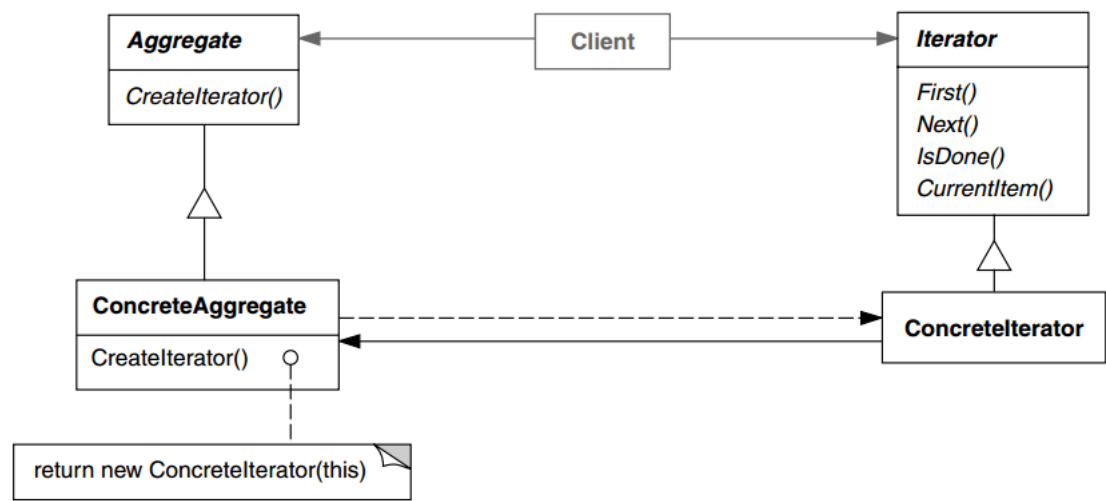
Contexto Funcional:

O próprio GoF cita pattern matching como um exemplo de aplicação do padrão Interpreter. Apesar de não ser um conceito necessariamente funcional, pattern matching costuma ser nativamente implementado por linguagens como Haskell e Scala. As linguagens funcionais também costumam implementar de forma mais simples tipos algébricos, que são definidos quase identicamente às gramáticas usadas para definir linguagens. Dessa forma, o que antes necessitaria de diversas classes e interfaces para uma hierarquia que não poderia ser muito complexa, pode ser traduzido como uma função que aproveita o pattern matching naturalmente para decidir e interpretar um valor definido através de um tipo abstrato.

Código 52 – Interpreter Funcional

8.4 Iterator

Figura 18 – Estrutura do Iterator



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 53 – Iterator Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

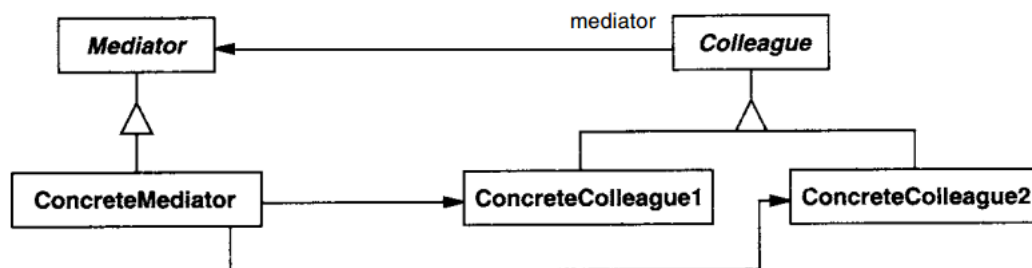
Código 54 – Iterator Funcional

8.5 Mediator

Nesse padrão, um objeto chamado de Mediator age como intermediário entre um grupo de objetos, ficando responsável por qualquer interação entre eles. O Mediator conhece todos esses objetos enquanto cada objeto conhece apenas o Mediator, o que os torna mais independentes, simplificando sua reutilização e concentrando as dependências entre eles em um só lugar.

A estrutura do padrão é apresentada na figura 19. Uma interface Mediator define as operações que um tipo de objeto Mediator deve possuir. ConcreteMediator representa uma classe que implementa essas operações. Um Colleague é um objeto conhecido pelo Mediator e cada ConcreteColleague pode ser tanto um objeto que possui operações refletidas em outros objetos quanto ser um dos objetos afetados indiretamente por outro Colleague.

Figura 19 – Estrutura do Mediator



Exemplo Orientado a Objetos

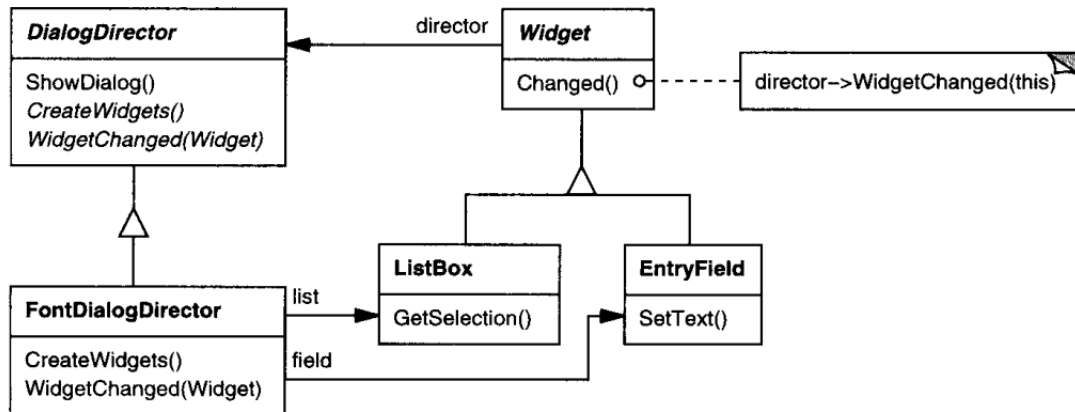
Como exemplo, é considerada uma janela de uma aplicação que apresenta diversos *widgets*, entre eles uma caixa de entrada de texto e uma lista de seleção. Quando um item é selecionado na lista, o texto contido nele deve aparecer na caixa de entrada de texto. O Mediator é responsável por alterar a caixa de entrada de texto quando um item é selecionado na lista, enquanto a lista é responsável por informar ao Mediator quando um item for selecionado. A figura 20 apresenta o diagrama de classes para esse exemplo. O código 55 apresenta a implementação do padrão para esse exemplo.

```
trait DialogDirector {

    def ShowDialog() {
        // Operação que exhibe o Dialog
    }

    def CreateWidgets() : Unit
    def WidgetChanged(widget : Widget) : Unit
}
```


Figura 20 – Exemplo de Mediator



```

}

class FontDialogDirector extends DialogDirector {

    val list : ListBox
    val field : EntryField

    def CreateWidgets() {
        this.list = new ListBox(this)
        this.field = new EntryField(this)
    }

    def WidgetChanged(widget : Widget) {
        this.field.SetText(
            this.list.GetSelection()
        )
    }
}

abstract class Widget(val director : DialogDirector){

    def Changed() : Unit = this.director.WidgetChanged(this)
}

class EntryField(director : DialogDirector) extends Widget(director) {
    var text : String

    def SetText(text : String) {
        this.text = text
    }
}

```

```

}

class ListBox(director : DialogDirector) extends Widget(director){
    var selection : String

    def GetSelection() : String = selection

    def SetSelection(selection : String) {
        this.selection = selection
        Changed()
    }
}

```

Código 55 – Mediator Orientado a Objetos

Contexto Funcional

Como o objetivo do padrão é gerenciar as interdependências entre elementos diferentes sem que eles precisem se conhecer, o objeto ConcreteMediator pode ser equivalente a um módulo que define as funções que serão executadas nos Colleagues afetados quando algum Colleague alvo realizar uma operação. Para simplificar a descrição do exemplo funcional, será definido como "Colleague alvo" um Colleague que, no exemplo orientado a objetos, teria executado uma operação que avisa o Mediator e "Colleague afetado" como um Colleague que, após o Mediator ter sido avisado, foi modificado ou referenciado. É importante notar que qualquer Colleague pode agir tanto como alvo quanto como afetado, dependendo do contexto.

Como as funções devem ser puras, uma função de um Colleague alvo não pode modificar um Colleague afetado sem que o mesmo seja passado por parâmetro. Seguindo essa abordagem, os Colleagues tornariam-se dependentes uns dos outros novamente, o que não é desejado. Uma forma de resolver esse problema é trazendo para o Mediator a responsabilidade de chamar as operações dos Colleagues de forma que as funções do Mediator serão compostas por uma função que faz a modificação no Colleague alvo e de todas as funções necessárias para modificar os Colleagues afetados. Essas funções podem receber como parâmetro os valores necessários para modificar o Colleague alvo, mas para que a abordagem seja equivalente à orientada a objetos, elas não deveriam receber nenhum parâmetro exclusivo das funções que alteram os Colleagues afetados. Outra consequência do uso de funções puras, que também é uma consequência da imutabilidade, é que também será responsabilidade das funções do Mediator retornar todos os Colleagues alterados.

O código 56 demonstra o exemplo visto anteriormente utilizando as ideias apresentadas. Um módulo FontDialogDirector possui a operação ChangeWidget, que trabalha com os tipos abstratos A, representando o tipo do Colleague alvo e B representando o

tipo do Colleague afetado. Como a função `ChangeWidget` não define a forma como os Colleagues afetados são alterados, o tipo `B` pode ser tanto um único Colleague quanto uma tupla ou lista de Colleagues afetados. A função `ChangeWidget` também recebe uma função que recebe como parâmetros valores dos tipos `A` e `B` e retorna uma tupla contendo valores dos mesmos tipos. A implementação da função é apenas a chamada de `f` para os widgets dos tipos `A` e `B` recebidos como entrada.

A função `f` recebida como parâmetro é responsável por definir qual função do Colleague alvo será chamada e como isso modificará os Colleagues afetados. No exemplo, ela pode ser definida através da função `ChangeSelectionFunction`, que recebe como parâmetro o valor da seleção para o *widget* de lista de seleção e retorna uma função que recebe como parâmetro um `ListBox` como Colleague alvo e um `EntryField` como Colleague afetado. O valor da seleção será armazenado em uma closure e será utilizado na chamada das funções `SetSelection` e `SetText`. Essa abordagem contribui para que novas funções para valores diferentes de seleção não precisem ser criadas e também para que uma mesma função que seleciona um valor possa ser reutilizada por mais de um *widget* da aplicação.

```
object FontDialogDirector {

  import EntryField._
  import ListBox._

  def ChangeWidget[A, B](
    changedWidget : A,
    affectedWidgets : B,
    f : (A, B) => (A, B))
    : (A, B) = f(changedWidget, affectedWidgets)

  def ChangeSelectionFunction(selection : String) =
    (listBox : ListBox, entryField : EntryField) =>
      (SetSelection(listBox, selection),
       SetText(entryField, selection))

}

object EntryField {

  case class EntryField(val text : String)

  def SetText(entryField : EntryField, text : String) =
    entryField.copy(text)

  def GetText(entryField : EntryField) =
    entryField.text

}
```

```

}

object ListBox {

  case class ListBox(val selection : String)

  def SetSelection(listBox : ListBox, selection : String) =
    listBox.copy(selection=selection)

  def GetSelection(listBox : ListBox) =
    listBox.selection
}

```

Código 56 – Mediator Funcional

Vantagens e Desvantagens

Uma vantagem observável da abordagem funcional é que os *colleagues* não precisam conhecer o Mediator. Dessa forma, os *widgets* poderiam ser reutilizados em outros trechos da aplicação onde eles não precisam depender ou ser dependentes de outros elementos.

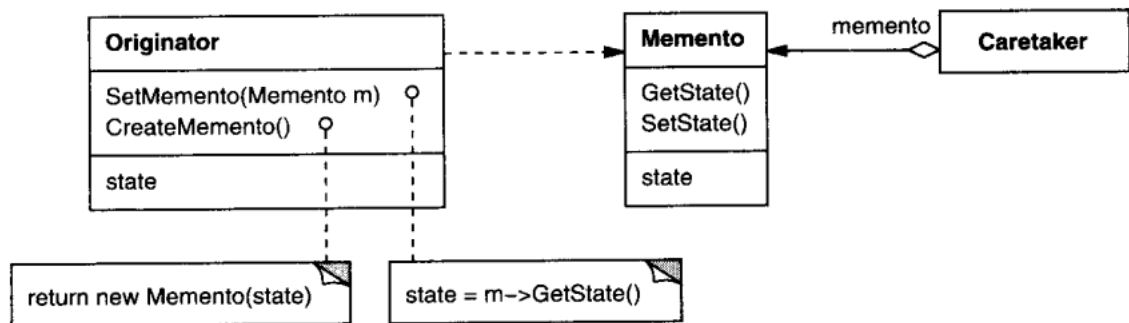
Uma desvantagem é o gerenciamento dos *widgets*, já que é sempre necessário desestruturar a tupla retornada pela função `ChangeWidget` para recuperar os novos valores. Essa operação pode tornar-se ainda mais difícil se a quantidade de *Colleagues* afetados aumentar ou se eles estiverem organizados em uma estrutura mais complexa. Outra desvantagem é que as operações precisam passar explicitamente pelo Mediator para serem executadas, tornando uma refatoração onde o Mediator não é mais necessário mais custosa.

8.6 Memento

O Memento permite armazenar e restaurar o estado interno de um objeto sem expor esse estado. Dessa forma, o encapsulamento do objeto em questão não é violado, mesmo seu estado sendo armazenado externamente.

Isso é alcançado através de uma classe Memento que armazena os atributos da classe que precisa ser salva (Originator). A geração de um objeto Memento só é possível através do próprio Originator, assim como a recuperação de seus atributos. Uma classe Caretaker é usada para armazenar objetos do tipo Memento e repassá-los para um Originator que precisa acessar o estado do Memento.

Figura 21 – Estrutura do Memento



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 57 – Memento Orientação a Objetos

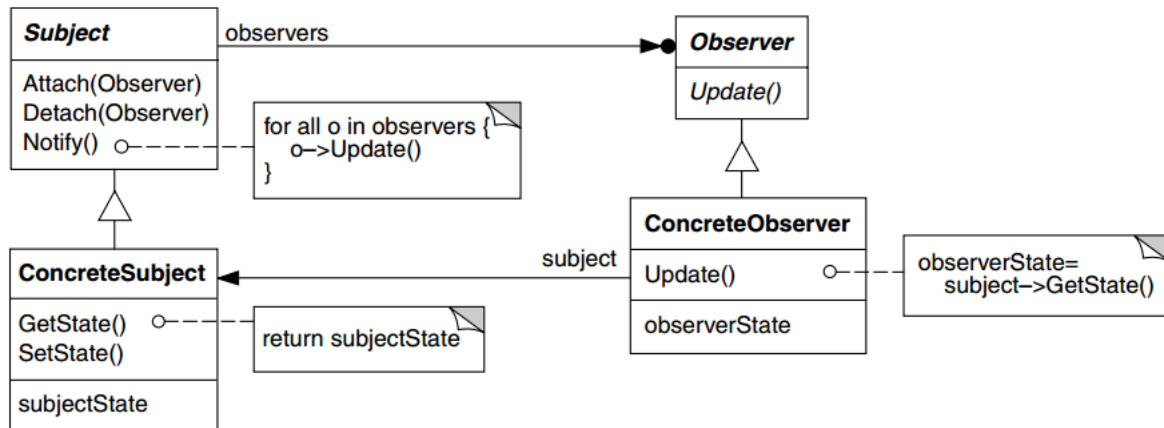
Contexto Funcional:

A ideia de armazenar estados anteriores pode ser alcançada com uma estrutura que armazena o valor atual do Originator e uma cópia do elemento desejado (ou uma lista armazenando um histórico de cópias). A partir dessa estrutura, é simples implementar funções que criam a cópia, atualizam o valor do Originator externamente e atualizam o valor do Originator a partir dos Mementos.

Código 58 – Memento Funcional

8.7 Observer

Figura 22 – Estrutura do Observer



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 59 – Observer Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

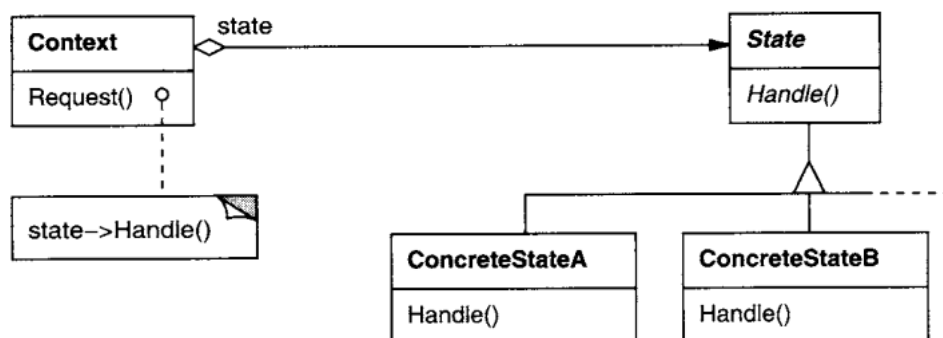
Código 60 – Observer Funcional

8.8 State

O State permite alterar o comportamento de um objeto baseado em seu estado interno. Uma interface define os comportamentos que dependem do estado do objeto e classes que a implementam definem a implementação dos mesmos. Dessa forma, o objeto principal delega as operações às classes que representam seu estado.

Esse padrão contribui para o reuso de operações comuns quando diversas classes relacionadas teriam que ser reinstantiadas durante uma mudança de estado. Também é permitido que o estado mude dinamicamente durante a execução.

Figura 23 – Estrutura do State



Exemplo Orientado a Objetos:

```
trait State{
  def pressButton() : State
}

class OnState() extends State {
  def pressButton() : State = new OffState()
}

class OffState() extends State {
  def pressButton() : State = new OnState()
}

class Lamp(state : State) {
  def pressButton() : Unit {
    this.state = state.pressButton()
  }
}
```

Código 61 – State Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

Normalmente, a primeira alternativa que se tem em mente é o monad State. Porém, esse monad é focado em comportamentos que alteram o estado atual do nosso valor. Por mais que isso seja possível através do padrão State, por definição, sua intenção é fornecer comportamentos que não necessariamente altera o estado interno do valor.

Dessa forma, uma maneira interessante de definir o State no contexto funcional é utilizando uma case class que armazena, além dos valores comuns, um valor referente a um State. Esse State nada mais é do que outra classe que irá armazenar, através de funções, os comportamentos que dependem de um estado. Da mesma forma que uma interface define as assinaturas das operações no exemplo orientado a objetos, aqui a definição da case class definirá que tipos de comportamentos a case class principal deverá possuir.

```
case class LampState(pressButton : () => Lamp)

case class Lamp(state : LampState)

def pressButton(lamp : Lamp) : Lamp =
    lamp.state.pressButton()

val onState : LampState = LampState(() => offState)

val offState : LampState = LampState(() => onState)
```

Código 62 – State Funcional

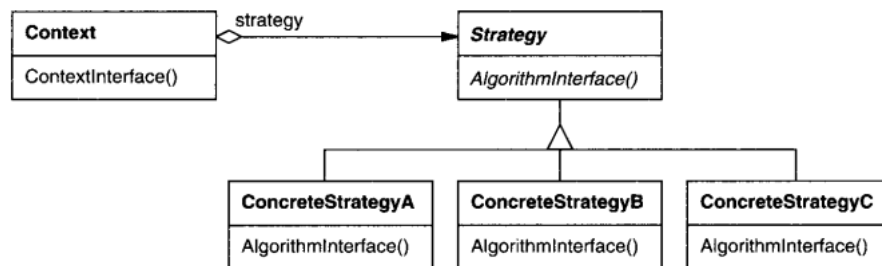
É importante notar que, aqui, quando o estado do valor principal precisa ser supostamente modificado, o que na verdade acontecerá é que a função da case class State irá retornar o nosso valor atualizado.

8.9 Strategy

O padrão Strategy define grupos de algoritmos encapsulados e intercambiáveis para um determinado contexto. Esses algoritmos podem ser definidos ou trocados em tempo de execução, permitindo que os clientes que os utilizem possam alternar entre as implementações definidas livremente.

O Strategy soluciona o problema de classes relacionadas diferirem apenas em algum comportamento, permitindo que esse comportamento possa ser isolado e o resto da implementação das classes reaproveitado. Ele também evita a utilização de muitas operações condicionais. Ao invés de verificar qual deve ser o comportamento toda vez que ele precisar ser executado, o comportamento é pré-definido pelo contexto.

Figura 24 – Estrutura do Strategy



Exemplo Orientado a Objetos:

```
trait Strategy {
    def execute(a : Int, b : Int) : Int
}

class ConcreteStrategyAdd() extends Strategy {
    def execute(a : Int, b : Int) : Int = {
        a + b
    }
}

class ConcreteStrategySubtract() extends Strategy {
    def execute(a : Int, b : Int) : Int = {
        a - b
    }
}

class ConcreteStrategyMultiply() extends Strategy {
    def execute(a : Int, b : Int) : Int = {
        a * b
    }
}
```

```

}

class Context() {

    private var strategy : Strategy

    def setStrategy(strategy : Strategy) =
        this.strategy = strategy

    def executeStrategy(a : Int, b : Int) : Int =
        this.strategy.execute(a, b)

}

```

Código 63 – Strategy Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

No contexto funcional, o encapsulamento de algoritmos ou de comportamentos diferentes pode ser alcançado através de funções de alta ordem (high-order functions). Nesse caso, não é necessário definir interfaces ou objetos para encapsular esses comportamentos, eles podem ser recebidos através da passagem de parâmetro como funções:

```

def executeAdd(a : Int, b : Int) : Int = {
    a + b
}

def executeSubtract(a : Int, b : Int) : Int = {
    a - b
}

def executeMultiply(a : Int, b : Int) : Int = {
    a * b
}

def executeStrategy(execute : (a : Int, b : Int) => Int) : Int =
    execute(a, b)

```

Código 64 – Strategy Funcional

Porém, existe uma desvantagem. A função [executeStrategy] acima aceita qualquer função que receba dois parâmetros inteiros e retorne um valor inteiro. Isso significa que qualquer função definida que não faça parte da solução mas que atenda a esse requisito pode ser usada como uma estratégia:

```

def executeOutOfScope(a : Int, b : Int) : Int = {

```

```
        a ** 2 + b ** 2  
    }
```

Código 65 – Strategy Funcional: Problema

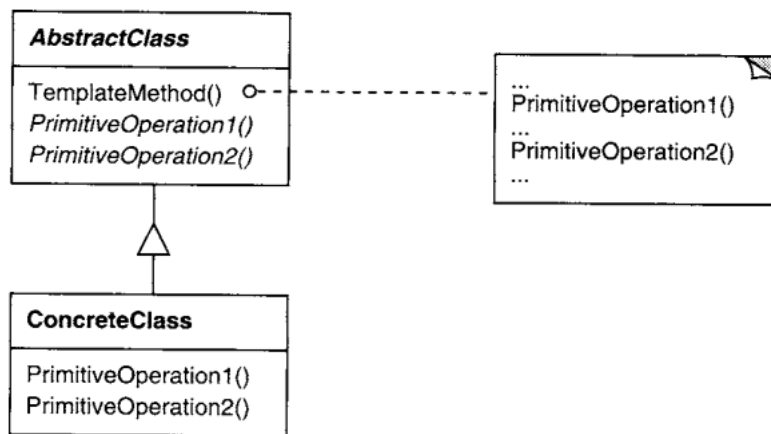
No caso orientado a objetos, os comportamentos estão encapsulados em interfaces, o que torna mais segura a implementação dos comportamentos.

8.10 Template Method

A ideia do Template Method é fornecer um esqueleto para um algoritmo e deixar para outras classes a tarefa de implementar as funções que compõem esse algoritmo. Uma classe abstrata define a operação Template Method e nela executa as etapas do algoritmo. Essas etapas são definidas através de operações abstratas que subclasses devem implementar para aproveitar o algoritmo.

Dessa forma, esse padrão ajuda a evitar repetição de código, concentrando em uma classe apenas a estrutura de uma operação e tornando responsabilidade das subclasses definir como essa operação deve ser executada. Também permite que um comportamento comum entre todas essas subclasses seja concentrado na superclasse, mais uma vez, evitando a repetição de código.

Figura 25 – Estrutura do Template Method



Exemplo Orientado a Objetos:

```
abstract class AbstractClass(){
    def templateMethod() : Unit = {
        primitiveOperation1()
        predefinedOperation()
        primitiveOperation2()
    }

    def predefinedOperation() : Unit = {

    }

    def primitiveOperation1() : Unit

    def primitiveOperation2() : Unit
```

```

}

class ConcreteClass() extends AbstractClass{

    def primitiveOperation1() : Unit = {

    }

    def primitiveOperation2() : Unit = {

    }

}

```

Código 66 – Template Method Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

No contexto funcional, a mesma ideia pode ser alcançada através de funções de alta ordem e composição de funções. Nosso método template é uma função simples que recebe como parâmetro todas as funções necessárias para executar o algoritmo pré-definido. Caso haja alguma função comum para todas as possíveis versões do algoritmo, essa é simplesmente chamada dentro do método template como uma função comum.

Para definir uma implementação do algoritmo, basta definir uma nova função que é a combinação do método template com as funções que representam as etapas do algoritmo. Essa função executa as etapas definidas sequencialmente, da mesma forma que a implementação do Template Method orientado a objetos.

```

def predefinedOperation() : Unit =

def templateMethod(primitiveOperation1 : () => Unit,
primitiveOperation2 : () => Unit) = {
    primitiveOperation1()
    predefinedOperation()
    primitiveOperation2()
}

def primitiveOperation1() : Unit =

def primitiveOperation2() : Unit =

def algorithmImplementation = templateMethod(primitiveOperation1,
primitiveOperation2)

```

Código 67 – Template Method Funcional

Existe ainda uma vantagem do Template Method funcional sobre o Orientado a Objetos: É possível definir novos templates com operações pré-definidas facilmente criando uma combinação de funções que não recebe todas as funções do algoritmo original: [melhorar isso aqui]

Porém, uma sequência de chamadas de função se parece mais com uma implementação imperativa usando funções de alta ordem do que uma implementação funcional. Normalmente, é desejado implementar funções puras, sem efeitos colaterais. Para isso, seria interessante que o template method aproveitasse o valor de saída de uma das funções da sequência como a entrada para a próxima função. Isso pode ser alcançado encapsulando essa sequência de chamadas em um Monad:

Código 68 – Template Method Funcional: Monads

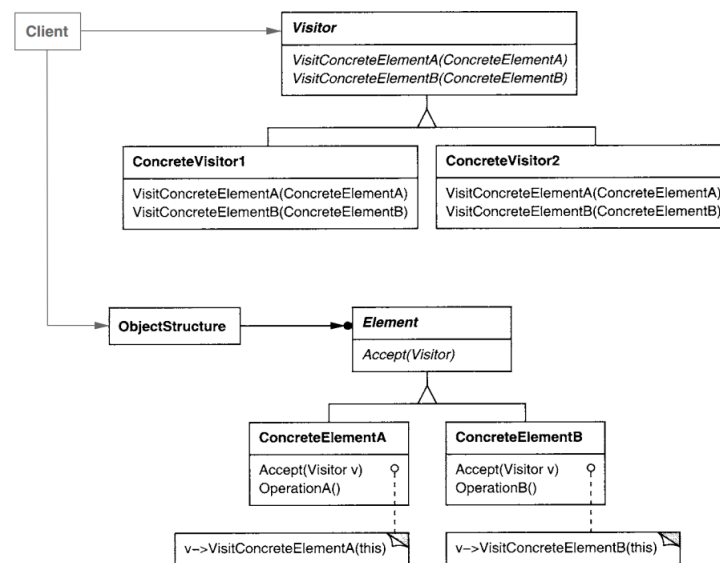
É importante ressaltar que o primeiro exemplo funcional apresentado já implementa o Template Method. A forma como as funções são chamadas dentro do método template não é a parte importante do padrão, portanto essas funções podem ser chamadas de qualquer forma, até mesmo criando uma nova composição de funções. Porém, como os exemplos de Template Method sempre abordam a ideia de um algoritmo (sequência de passos) que remetem ao paradigma imperativo, é interessante mostrar que existe uma alternativa para essa abordagem do ponto de vista funcional também.

8.11 Visitor

O padrão Visitor define uma estrutura que permite implementar operações em um objeto ou em uma coleção de objetos sem alterar sua implementação. Para isso, é definida uma classe abstrata que define as operações que o Visitor deve implementar para cada tipo de elemento da coleção. Dessa forma, cada objeto da coleção implementa apenas uma operação, que recebe um Visitor genérico e realiza a operação desejada sem conhecê-la.

Esse padrão permite estender objetos para novas operações sem comprometer sua implementação ou poluir as classes com diversas operações que não são de sua responsabilidade. Ele também permite que operações diferentes sejam executadas dependentes da implementação do objeto. Por exemplo, em uma coleção de objetos do tipo da interface A que é implementada por objetos do tipo B e C, um Visitor pode realizar uma operação diferente se o objeto for do tipo B ou do tipo C.

Figura 26 – Estrutura do Visitor



Exemplo Orientado a Objetos:

Código 69 – Visitor Orientação a Objetos

Contexto Funcional:

O Visitor é mais um caso em que funções de alta ordem ajudam a economizar novas classes e interfaces. Basta definir uma função que receba como parâmetro um valor do tipo encapsulado pela coleção e retornar um valor do mesmo tipo com a operação realizada. Funções do tipo map, que podem ser usadas para realizar uma operação em uma coleção, contribuem para essa implementação.

Porém, a funcionalidade do Visitor que permite realizar operações diferentes dependendo da implementação do objeto também é interessante e pode ser alcançada utilizando pattern matching. [terminar esse texto]

Código 70 – Visitor Funcional

Parte IV

Resultados

9 Conclusão

Sed consequat tellus et tortor. Ut tempor laoreet quam. Nullam id wisi a libero tristique semper. Nullam nisl massa, rutrum ut, egestas semper, mollis id, leo. Nulla ac massa eu risus blandit mattis. Mauris ut nunc. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam eget tortor. Quisque dapibus pede in erat. Nunc enim. In dui nulla, commodo at, consectetur nec, malesuada nec, elit. Aliquam ornare tellus eu urna. Sed nec metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.

Sed eleifend, eros sit amet faucibus elementum, urna sapien consectetur mauris, quis egestas leo justo non risus. Morbi non felis ac libero vulputate fringilla. Mauris libero eros, lacinia non, sodales quis, dapibus porttitor, pede. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi dapibus mauris condimentum nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam sit amet erat. Nulla varius. Etiam tincidunt dui vitae turpis. Donec leo. Morbi vulputate convallis est. Integer aliquet. Pellentesque aliquet sodales urna.

Referências

- 1 FORD, N. Functional design patterns - functional thinking. 2012. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/library/j-ft10/index.html>>. Citado na página 15.
- 2 NORVIG, P. Design patterns in dynamic languages. 1996. Disponível em: <<https://norvig.com/design-patterns/design-patterns.pdf>>. Citado na página 15.
- 3 WLASCHIN, S. Functional programming design patterns. 2014. Disponível em: <<https://fsharpforfunandprofit.com/fppatterns/>>. Citado na página 15.
- 4 SIERRA, S. Clojure design patterns. 2013. Disponível em: <<https://www.infoq.com/presentations/Clojure-Design-Patterns/>>. Citado na página 15.
- 5 FUSCO, M. From gof to lambda. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Rmer37g9AZM&t=122s>>. Citado na página 15.
- 6 CHURCH, A. *A Set of Postulates for the Foundation of Logic*. [S.l.: s.n.], 1932. Citado na página 19.
- 7 CHURCH, A. *An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory*. [S.l.]: Hopkins, 1936. Citado na página 19.
- 8 MOL, L. D. Turing machines. In: ZALTA, E. N. (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Winter 2019. [S.l.]: Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2019. Citado na página 19.
- 9 COPELAND, B. J. The church-turing thesis. In: ZALTA, E. N. (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Summer 2020. [S.l.]: Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2020. Citado na página 19.
- 10 MLACHKAR; PHILLIPUS; ALVINJ. Pure functions. Disponível em: <<https://docs.scala-lang.org/overviews/scala-book/pure-functions.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- 11 CHIUSANO, P.; BJARNASON, R. *Functional Programming in Scala*. [S.l.: s.n.], 2013. Citado 5 vezes nas páginas 19, 20, 21, 22 e 35.
- 12 HIGGINBOTHAM, D. *Clojure for the Brave and True*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado na página 20.
- 13 O'SULLIVAN, B.; STEWART, D.; GOERZEN, J. *Real World Haskell*. [S.l.: s.n.], 2008. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22 e 23.
- 14 HAVERBEKE, M. *Eloquent Javascript*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 21.
- 15 DENERO, J. Composing functions. Disponível em: <<https://composingprograms.com/pages/16-higher-order-functions.html>>. Citado na página 21.
- 16 BUONANNO, E. *Functional Programming in C#: How to write better C# code*. [S.l.]: Manning, 2017. Citado na página 21.

- 17 MLACHKAR; ALVINJ. Passing functions around. Disponível em: <<https://docs.scala-lang.org/overviews/scala-book/passing-functions-around.html>>. Citado na página 21.
- 18 FOWLER, M. Lambda. 2004. Disponível em: <<https://martinfowler.com/bliki/Lambda.html>>. Citado na página 23.
- 19 GAMMA, E. et al. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1995. ISBN 0-201-63361-2. Citado 3 vezes nas páginas 25, 27 e 29.
- 20 ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. New York: [s.n.]. Citado na página 25.
- 21 MICROSOFT. Dependency injection in asp.net core. 2020. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/fundamentals/dependency-injection?view=aspnetcore-5.0>>. Citado na página 29.
- 22 BEZERRA, E. *Princípios de Análises e Projeto de Sistemas com UML*. [S.l.: s.n.], 2006. Citado na página 35.
- 23 ARMSTRONG, D. The quarks of object-oriented development. 2006. Citado na página 36.
- 24 MARMORSTEIN, R. Classless javascript. 2016. Disponível em: <<https://gist.github.com/twitchard/5ec53360ae109bb32e26742ddbc4cc93>>. Citado na página 37.
- 25 THOMSON, P. Existential haskell. 2020. Disponível em: <<https://blog.sumtypeofway.com/posts/existential-haskell.html>>. Citado na página 37.
- 26 MODULE Systems and ML. 2004. Disponível em: <<https://courses.cs.washington.edu/courses/cse341/04wi/lectures/09-ml-modules.html>>. Citado na página 37.