Category Theory Arrows e Monads em Java

Mozart L. Siqueira
Ciências da Computação
Centro Universitário La Salle - Unilasalle
Email: mozarts@unilasalle.edu.br

Pablo M. Parada
Ciências da Computação
Centro Universitário La Salle - Unilasalle
Email: pablo.paradabol@gmail.com

***Resumo*—<escrever>**
***Index Terms*—<escrever>**

I. INTRODUÇÃO

<escrever>

II. SOBRE O PARADIGMA FUNCIONAL

Influenciado principalmente pelo desenvolvimento do lambda calculus [1], compondo o grupo da programação declarativa, o paradigma funcional utiliza-se da ideia de expressar computações através de funções combinadas em expressões. Neste, funções determinam o que deverá ser computado, ao invés de como sera computado [2]. Programas são construídos através da composição, tal que funções triviais (building blocks) são combinadas dando origem a novas funções que descrevem computações mais complexas.

Building blocks não devem fazer uso de variáveis que dependam de estado, isso significa que a computação deve ser pura e sem efeitos colaterais (side-effects). Também destaca-se o princípio de imutabilidade, onde o valor de uma variável é determinado em sua criação, não permitindo novas atribuições posteriormente. Ao expressar um programa em uma linguagem funcional obtém-se uma maneira concisa de solucionar problemas, sendo que este constitui-se de operações e objetos atômicos e regras gerais para sua composição [3].

Tais propriedades são apreciadas nos tempos atuais, visto que a Lei de Moore nos fornece cada vez mais núcleos, não necessariamente núcleos mais rápidos [4]. Em programas não-determinísticos, múltiplas threads podem alterar os dados representados por objetos imutáveis sem ocasionar os diversos problemas já conhecidos como dead locks e race conditions. Além do thread safety oferecido pela propriedade de imutabilidade, o conceito de funções transparentes referencialmente, ou seja, funções que não utilizam variáveis de estado, também oferecem vantagens para a concorrência com múltiplas threads podendo invocar tais funções esperando sempre o mesmo retorno, dados os mesmos argumentos.

Na última década muitos problemas encontrados – como enviar não só dados, mas também comandos através de redes – já foram solucionados em linguagens que suportam o paradigma funcional [5]. Assim, linguagens multi-paradigma têm adicionado suporte à estas mesmas estruturas, aumentando sua flexibilidade e ganho para com os desenvolvedores. O suporte a lambda expressions em Java não tem como objetivo apenas substituir Anonymous Inner Classes, mas também ser capaz de trazer os benefícios deste paradigma ao ponto de incrementar o ecossistema da linguagem.

A. *Lambda Expressions e Anonymous Inner Classes*

Ao fornecer suporte a funções de primeira classe, também chamadas de lambda expressions ou closures [1], a linguagem Java habilita a substituição de annonymous inner classes (AIC) de forma transparente. Conforme a listagem 1, em Java a ordenação de inteiros pode ser implementada a partir de uma AIC em conjunto do método sort da classe Arrays.

```
Integer[] integers = new Integer[]{5, 4, 3, 2, 1};

Arrays.sort(integers, new Comparator<Integer>() {
    public int compare(Integer a, Integer b) {
        return a.compareTo(b);
    }
});
```

Listagem 1: Sort - Anonymous Inner Class

Neste trecho de código o método *sort* recebe como primeiro argumento um array de inteiros (já declarado na variável *integers*) e como segundo qualquer instância que satisfaça o contrato de *Comparator*. Assim, para satisfazer o segundo argumento, instância-se uma AIC através da palavra reservada **new** que implementa o método *compare* declarado no contrato.

Entretanto, com closures o mesmo método *sort* pode ter seus argumentos simplificados. Conforme demonstrado na listagem 2, ao invés de instanciar uma AIC, uma lambda expression é passada como segundo argumento, removendo a

[1]Lambda expressions ou closures são funções que não exigem vínculos de classe, como exemplo podendo ser atribuída a uma variável. Com esta caraterística, uma função atua como dado, ou seja, pode ser passada como argumento para outras funções.

necessidade de instanciação de uma classe e a implementação de um contrato imposto por *Comparator*.

```
Arrays.sort(integers, (a, b) -> a.compareTo(b));
```

Listagem 2: Sort - Lambda Expression

De fato, apesar de expressarem o mesmo comportamento a nível de código, ambas funcionalidades possuem diferentes implementações sob a Máquina Virtual Java (JVM). AIC são compiladas, ou seja, geram novos arquivos contendo declarações de classes. Além do mais, ao utilizar a palavra reservada **this** referencia-se a própria instância anônima. Como representam instâncias de uma classe, estas devem ser carregadas pelo classloader e seus construtores invocados pela máquina virtual. Ambas etapas consomem memória, tanto heap [6] para alocação de objetos quanto permgem[2].

Diferentemente de AIC, lambdas postergam a estratégia de compilação para em tempo de execução, utilizando a instrução invokedynamic [7]. Funções são traduzidas para métodos estáticos vinculados ao arquivo da classe correspondente a sua declaração, eliminando o consumo de memória. Agora, ao referir-se a **this**, a classe que delimita a lambda expression é acessada, ao contrário de AIC que acessa sua própria instância.

Além destes benefícios, lambda expressions possibilitam a implementação de novas bibliotecas que trazem consigo as propriedades do paradigma funcional. São suficientemente poderosas para expressar as mesmas construções, sem os encargos impostos pelas antigas implementações. Além disso, a adoção do paradigma funcional torna os usuários aptos a aderirem a novas estruturas advindas da Category Theory, como a classe *Optional*, disponível na última versão da linguagem.

III. CATEGORY THEORY E SUAS ESTRUTURAS

A Category Theory (CT) foi inventada no início dos anos 1940 por Samuel Eilenberg e Sunders Mac Lane [8] como uma ponte entre os diferentes campos da topologia e álgebra [9]. Afim de demonstrar as relações entre estruturas e sistemas matemáticos [10], a CT estabelece uma linguagem formal capaz de encontrar aplicabilidade em várias áreas da ciência. Tal como Group Theory[3] abstrai a ideia do sistema de permutações como simetrias de um objeto geométrico, a CT manifesta-se como um sistema de funções entre conjuntos de objetos [11].

Conforme a figura 1, os conjuntos de objetos são representado por A, B e C. Nesta mesma estrutura, as funções f e g denotam os morfismos entre os diferentes conjuntos de objetos, tal que $f : A \to B$ e $g : B \to C$. A função h, definida por $h : A \to C$ dá-se como produto da composição de f e g. A composição de funções, conforme a seção II e expressa através de h na figura 1, firma uma ligação entre o paradigma funcional e a organização estrutural derivada da CT.

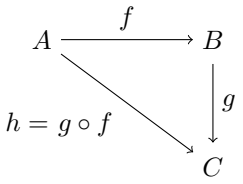

Figura 1: Funções entre coleções de objetos

A partir desta ligação, Moggi em seus trabalhos [12, 13] introduziu o conceito de monad em Haskell. Este foi capaz de fornecer os mecanismos necessários para capacitar a solução de um dos problemas fundamentais da linguagem, pertencente ao conjunto The Awkward Squad [14]. A partir de outros conceitos como functors, categories, arrows, o trabalho de Moggi foi incrementado criando novas estruturas que estão presentes nas versões mais recentes da linguagem.

A. Category – Objetos e Morfismos

Uma category consiste em uma coleção de coisas, todas relacionadas de algum modo. As coisas são nomeadas de objetos e as relações de morfismos [9].

Definição: conforme [9, 10], uma category C é definida como:

(a) uma coleção $Ob(C)$, contendo os objetos de C;

(b) para cada par $a, b \in Ob(C)$, um conjunto $Hom_C(a, b)$ chamado de morfismos de a para b;

(c) para cada objeto $a \in Ob(C)$, um morfismo de *identidade* em a denotado por $id_a \in Hom_C(x, a)$;

(d) para cada três objetos $a, b, c \in Ob(C)$, uma função de composição $\circ : Hom_C(b, c) \times Hom_C(a, b) \to Hom_C(a, c)$;

Dado os objetos $a, b \in Ob(C)$, denota-se o morfismo $f \in Hom_C(a, b)$ por $f : a \to b$; onde a é o domínio e b o contradomínio.

Estas operações em C devem satisfazer os seguintes axiomas:

(Identidade) Para todo objeto $a, b \in Ob(C)$ e todo morfismo $f : a \to b$, tem-se $id_a \circ f = f = id_b \circ f$;

(Associatividade) Sejam os objetos $a, b, c, d \in Ob(C)$ e os morfismos $f : a \to b$, $g : b \to c$ e $h : c \to d$. Então $(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$.

Ambos axiomas podem ser representados pelos diagramas comutativos das figuras 2 e 3.

[2]Área de memória limitada separada da heap chamada Permanent Generation que possui a função de armazenar objetos de geração permanente como metadados, classes e métodos.

[3]A Group Theory estuda as estruturas algébricas chamadas Group. Um Group é um conjunto de elementos finito ou infinito associado a uma operação binária, como por exemplo a adição ou multiplicação.

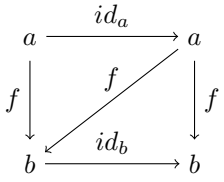

Figura 2: Identidade

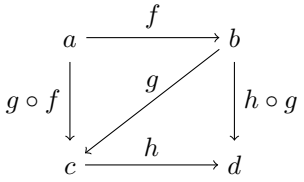

Figura 3: Associatividade

B. Functor – Categories e Morfismos

Um functor F consiste em um morfismo entre duas categories [10]. Estes morfismos, chamados homomorfismos, tem como característica a preservação de estrutura de F. Assim como categories, functors devem satisfazer os axiomas de associatividade e identidade.

<adicionar notações matemáticas e diagramas>

C. Monad – Endofunctor e Transformações Naturais

Endofunctors equipados com as natural transformations unit e multiplication [10] são chamados de monad. Define-se endofunctors como functors cujos morfismos dão-se em uma mesma category. Além disso, natural transformations são morfismos entre functors, tendo como principal característica a preservação de estrutura. Como todas as estruturas já mencionadas, monads também devem satisfazer as propriedades de associatividade e identidade.

<adicionar notações matemáticas e diagramas comutativos>

D. Arrow – Kleisli Triples

A partir de um monad podemos construir kleisli triples. Podemos pensar em kleisli triples como uma outra forma de representar sintaticamente um monad. Similar a monads, estas também obedecem as propriedades de associatividade e comutatividade.

<adicionar notações matemáticas e diagramas comutativos>

Referências

[1] P. Hudak, "Conception, evolution, and application of functional programming languages," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 21, no. 3, pp. 359–411, 1989.

[2] K. Louden *et al.*, *Programming Languages: Principles and Practices*. Cengage Learning, 2011.

[3] G. Michaelson, *An Introduction to Functional Programming Through Lambda Calculus*. Courier Corporation, 2011.

[4] B. Goetz *et al.*, "State of the lambda," Sept 2013, White Paper. [Online]. Available: http://cr.openjdk.java.net/ briangoetz/lambda/lambda-state-final.html

[5] R. Fischer, *Java Closures and Lambda*, 1st ed. Apress, 2015.

[6] C. Hunt and B. John, *Java Performance*. Prentice Hall Press, 2011.

[7] B. Goetz, "Translation of lambda expressions," Apri 2012, White Paper. [Online]. Available: http://cr.openjdk.java.net/ briangoetz/lambda/lambda-translation.html

[8] S. Eilenberg and S. MacLane, "General theory of natural equivalences," *Transactions of the American Mathematical Society*, pp. 231–294, 1945.

[9] D. I. Spivak, *Category Theory for the Sciences*. The MIT Press, 2014, no. 1.

[10] S. Mac Lane, *Categories for the Working Mathematician*, ser. Graduate Texts in Mathematics. Springer-Verlag, 1971, no. 5.

[11] S. Awodey, *Category Theory - Oxford Logic Guides*, 2nd ed. Oxford University Press, 2010, vol. 52.

[12] E. Moggi, "Computational lambda-calculus and monads," pp. 14–23, 1989.

[13] E. Moggi, "Notions of computation and monads," *Inf. Comput.*, vol. 93, no. 1, pp. 55–92, Jul. 1991.

[14] S. P. Jones, "Tackling the awkward squad: monadic input/output, concurrency, exceptions, and foreign-language calls in haskell," in *Engineering theories of software construction*. Press, 2001, pp. 47–96.