

Inferência de Tipos para CPS

Vinícios Bidin Santos

Universidade do Estado de Santa Catarina

vinibidin@gmail.com

Orientador: Dr. Cristiano Damiani Vasconcellos

Coorientador: Me. Paulo Henrique Torrens

27/11/2024

- 1 Introdução
 - Objetivos
- 2 Representação Intermediária de Código
 - Estilo de Passagem de Continuação (CPS)
- 3 Teoria de Tipos
- 4 Sistema Damas-Milner
 - Algoritmo W
- 5 Proposta
- 6 Referências

Compilação:

- Tradução de código de uma linguagem para outra
 - Geralmente do código-fonte para o de máquina
- Composta por diferentes etapas como:
 - Análise léxica
 - Análise sintática
 - Análise semântica
 - Otimizações
 - Geração de código
- Ligadas por Representações Intermediárias
 - Principalmente nas otimizações (PLOTKIN, 1975)

Representações Intermediárias:

- Linguagens imperativas
 - Atribuição Única Estática (SSA)
- Linguagens funcionais
 - Forma Normal Administrativa (ANF)
 - Estilo de Passagem de Continuação (CPS)
- CPS
 - Continuações explícitas
 - Parâmetro extra na função
 - Funções sem retorno
 - Otimizações
 - Eliminação da pilha de chamadas
 - Eliminação de chamadas de cauda

- Formalizar um sistema de tipos para CPS
- Propor e implementar em Haskell um algoritmo de inferência de tipos para CPS
- Validar a implementação do algoritmo por meio do teste de inferência para expressões

Representação Intermediária de Código

- Estrutura de dados usada para manter integridade semântica e possibilitar otimizações (COOPER; TORCZON, 2014)
 - Classificadas de acordo com o nível de abstração
 - Muitas vezes aplicadas em sequência

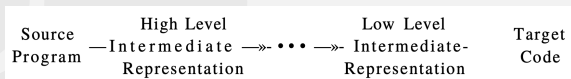


Figura: Sequência de representações intermediárias

Fonte: (AHO et al., 2008)

- Fluxo de controle
 - Ordem das instruções
 - Escopo

Estilo de Passagem de Continuação (CPS)

- Técnica de transformação de código que torna o fluxo de controle explícito
 - Chamadas de função passam o controle para a próxima etapa explicitamente, conhecida como continuação (APPEL, 1992)
 - Ao invés das funções retornarem o resultado da computação, é invocado uma continuação, representando o próximo passo
- Toda chamada de função passa então a ser uma chamada de cauda (*tail-call*)

Chamada de cauda:

- Última instrução executada em uma função é uma chamada a outra função, sem que restem computações adicionais a serem feitas após essa chamada (MUCHNICK, 1997)
 - Função atual pode liberar seu quadro de ativação

Chamada não de cauda:

- Ainda restam operações, como somas ou multiplicações, após a chamada da função
 - Função atual precisa manter seu quadro de ativação até que as operações sejam concluídas

Estilo de Passagem de Continuação (CPS)

Figura: Função fatorial em Haskell com chamada não de cauda

```
1 factorial :: Int -> Int
2 factorial 0 = 1
3 factorial n = n * factorial (n - 1)
```

Fonte: o autor

Figura: Função fatorial em Haskell com chamada de cauda

```
1 go :: Int -> Int -> Int
2 go 1 a = a
3 go n a = go (n - 1) (a * n)
4
5 factorial :: Int -> Int
6 factorial 0 = 1
7 factorial n = go n 1
```

Fonte: o autor

Cálculo Lambda:

Church (1932) define o cálculo- λ , que é representado pela seguinte gramática:

$$e ::= x \mid \lambda x.e \mid ee$$

- **Variável:** identificadores no sistema
- **Abstração:** função que associa um identificador x a um termo e
- **Aplicação:** aplicação de um termo a outro

Estilo de Passagem de Continuação (CPS)

Variáveis no cálculo- λ podem ser:

- **Livres:** quando não estão associadas a uma abstração de função
 - $\lambda x.y$
- **Ligadas:** quando estão associadas a uma abstração de função
 - $(\lambda x.x)y$

Para analisar expressões:

- α -**redução:** Renomeação de variáveis ligadas.

$$\lambda x.e[x] \rightarrow \lambda y.e[y]$$

- β -**redução:** Aplicação de função.

$$(\lambda x.e_1)e_2 \rightarrow e_1[e_2/x]$$

- η -**redução:** Expansão de função.

$$\lambda x.(e\ x) \rightarrow e \quad \text{se } x \text{ não ocorre livre em } e$$

Transformação CPS:

No cálculo- λ tradicional, o fluxo de execução é implícito

- Funções são aplicadas e os resultados são retornados
- $\lambda x.x + 1$

Já no CPS, o fluxo de execução é explícito

- Uma série de chamadas de funções passam o resultado para um argumento extra, a continuação, indicando o próximo passo da computação
- $\lambda x.\lambda k.k(x + 1)$

Cálculo de Continuações (*CPS-calculus*):

(THIELECKE, 1997) define como sendo um sistema formal que trata o CPS como um modelo computacional por si só

Seus termos são:

$$M ::= x\langle\vec{x}\rangle \mid M\{x\langle\vec{x}\rangle = M\}$$

- **Salto (*jump*)**: uma chamada para a continuação x com os parâmetros \vec{x}
- **Vínculo (*binding*)**: uma chamada onde o corpo M está vinculado à continuação x com os parâmetros \vec{x}

Tradução CPS:

Converte um código escrito em estilo direto para CPS (FLANAGAN et al., 1993)

- Modificar as funções para elas não retornarem um valor, mas sim, passarem o resultado para uma continuação

Estilo de Passagem de Continuação (CPS)

Figura: Função soma em Haskell em Estilo Direto

```
1 add :: Int -> Int -> Int
2 add x y = x + y
```

Fonte: o autor

Figura: Função soma em Haskell em CPS

```
1 addCps :: Int -> Int -> (Int -> r) -> r
2 addCps x y k = k (x + y)
```

Fonte: o autor

Estilo de Passagem de Continuação (CPS)

Figura: Função fatorial em Haskell em Estilo Direto

```
1 fat :: Int -> Int
2 fat 0 = 1
3 fat n = n * fat (n - 1)
```

Fonte: o autor

Figura: Função fatorial em Haskell em CPS

```
1 fatCps :: Int -> (Int -> r) -> r
2 fatCps 0 k = k 1
3 fatCps n k =
4   fatCps
5     (n - 1)
6     (\x -> seq x k (n * x))
```

Fonte: o autor



















 AHO, A. V. et al. *Compiladores: Princípios, técnicas e ferramentas*. 2th. ed. São Paulo, SP, Brasil: Pearson Education, 2008.


 APPEL, A. W. *Compiling with continuations*. USA: Cambridge University Press, 1992. ISBN 0521416957.


 CHURCH, A. A set of postulates for the foundation of logic. *Annals of mathematics*, JSTOR, p. 346–366, 1932.

 COOPER, K. D.; TORCZON, L. *Contruindo Compiladores*. 2th. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Elsevier, 2014.

 FLANAGAN, C. et al. The essence of compiling with continuations. *SIGPLAN Not.*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 28, n. 6, p. 237–247, jun 1993. ISSN 0362-1340. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/173262.155113>>.

 MUCHNICK, S. S. *Advanced Compiler Design and Implementation*. Oxford, England: Morgan Kaufmann, 1997.

 PLOTKIN, G. Call-by-name, call-by-value and the λ -calculus. *Theoretical Computer Science*, v. 1, n. 2, p. 125–159, 1975. ISSN 0304-3975. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304397575900171>>.

 THIELECKE, H. *Categorical Structure of Continuation Passing Style*. [S.l.]: University of Edinburgh. College of Science and Engineering. School of Informatics., 1997.