

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE INFORMÁTICA – CIn

Relatório do projeto da disciplina:  
Processamento de Cadeias de Caracteres (2015.2)

Equipe:  
João Guilherme Farias Duda  
Paulo de Barros e Silva Filho  
Raul Maia Falcão

Recife, 10 de Janeiro de 2016

## Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Descrição de uso da ferramenta <i>ipmt</i></b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Implementação</b>	<b>4</b>
3.1	Descrição dos algoritmos implementados . . . . .	4
3.1.1	Linear Suffix Array . . . . .	4
3.1.2	LZ78 . . . . .	4
3.2	Detalhes de implementação . . . . .	4
3.2.1	Linear Suffix Array . . . . .	5
3.2.2	LZ78 . . . . .	5
3.3	Descrição do formato .idx . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Experimentos</b>	<b>6</b>
4.1	Como a nossa implementação do LZ78 se compara ao gzip? .	7
4.1.1	Tempo . . . . .	7
4.1.2	Taxa de compressão . . . . .	8

# 1 Introdução

Este documento é sobre a ferramenta *ipmt*. Essa ferramenta é capaz de pré-processar um arquivo de texto, gerando um índice. Sucessivas buscas podem ser feitas através desse índice, sem a necessidade de percorrer o texto novamente.

*ipmt* primeiro gera um índice para o texto usando o algoritmo LSA (Linear Suffix Array), depois esse índice é comprimido em um arquivo juntamente com o texto usando o algoritmo LZ78. Para realizar buscas, primeiramente o arquivo é descomprimido usando o lz78-decode e depois o casamento de padrões é realizada de acordo com o LSA.

Os integrantes da equipe foram responsáveis pelas seguintes tarefas:

- João:
- Paulo: Implementação do algoritmo LZ78 e da interface de comunicação entre os algoritmos.
- Raul: Implementação da estrutura de indexação LSA.

# 2 Descrição de uso da ferramenta *ipmt*

O projeto contém um arquivo Makefile. Após a execução do comando make, o executável *ipmt* será gerado no diretório bin. A ferramenta *ipmt* possui 4 modos de execução:

- Modo de indexação - *ipmt* index file.txt  
O comando acima irá criar o arquivo file.idx, que contém o conteúdo de file.txt e que possibilita a realização de buscas.
- Modo de busca - *ipmt* search -c herself file.idx  
O comando acima irá listar a quantidade de ocorrência do padrão "herself" encontradas no arquivo indexado file.idx. O argumento -c é opcional, caso não informado todas as linhas contendo ocorrências serão impressas.
- Modo de compressão - *ipmt* compress file.txt  
O comando acima irá comprimir o arquivo file.txt em um arquivo file.comp.

- Modo de descompressão - `ipmt decompress file.comp`

O comando acima irá descomprimir o arquivo `file.comp` em um arquivo `file.comp.decomp`.

## 3 Implementação

Todos os algoritmos foram implementados em C++ por questões de eficiência. A implementação em Python feita em sala de aula foi usada como uma base inicial.

### 3.1 Descrição dos algoritmos implementados

#### 3.1.1 Linear Suffix Array

O algoritmo de indexação implementado teve como base [2] para a construção em tempo linear de um array de sufixos. Em suma, o array de sufixos é um array de inteiros que armazena a permutação de  $n$  índices ordenados lexicograficamente, onde  $n$  é o tamanho do texto. Uma vez construído o array de sufixos, a complexidade da busca passa a ser linear com relação ao tamanho do padrão.

#### 3.1.2 LZ78

O algoritmo de compressão LZ78 teve como base a implementação vista em sala de aula e descrita em [3]. O LZ78 utiliza um dicionário dinâmico explícito, onde a referência compreende um par composto pelo índice no dicionário e o caracter de mismatch.

Durante a compressão (LZ78-encode), o dicionário é criado dinamicamente a cada mismatch. Junto com o dicionário, também é criado um código que representa a string que está sendo comprimida. O LZ78-encode é linear de acordo com o tamanho da string que está sendo comprimida.

O processo de descompressão (LZ78-decode) recebe somente o código gerado durante a compressão, e é capaz de gerar o dicionário dinamicamente, bem como a string original que foi comprimida. O LZ78-decode é linear de acordo com o tamanho do código recebido na entrada.

### 3.2 Detalhes de implementação

Abaixo descrevemos algumas decisões e peculiaridades de cada algoritmo.

### 3.2.1 Linear Suffix Array

Na construção do Linear Suffix Array há uma etapa de criação de dois arrays de sufixos, S1 e S2. Seja  $index$  a posição de um caracter em um texto: A função `buildS1andS2` constrói o array de sufixo S1 que contém sufixos tal que  $index \% 3 = 0$  e também constrói o array de sufixo S2 que contém sufixos tal que  $index \% 3 \neq 0$ . Após a construção de S1 e S2, estes são ordenados através de uma implementação do Radix Sort com o objetivo de otimizar essa etapa. Como o Radix Sort não faz comparações entre valores, nesse contexto, o seu desempenho é superior a um algoritmo de ordenação por comparação. A ordenação de S1 e S2 foi necessária para a etapa de merge ( $S1 \cup S2 = SA$ ) de tal forma que o custo do merge é realizado em tempo linear. Após o merge, obtemos os índices devidamente ordenados.

### 3.2.2 LZ78

O dicionário dinâmico possui uma estrutura de Trie: Cada nó mapeia um índice a somente um char, e possui nós descendentes de forma que o nó original e cada um de seus descendes forma uma sequência diferente de caracteres encontrada no texto.

Usamos como alfabeto do código de saída o sistema binário. Como cada elemento do código de saída tem somente um bit, usamos como estrutura de dados para guardar o código um vector de `bool`<sup>1</sup>. Optamos por essa estrutura de dados pois ela possui uma otimização de espaço: Um `bool` em C++ ocupa 8 bits (ou 1 byte) de espaço na memória, porem um vector de `bool` usa somente 1 bit para cada elemento.

Outra peculiaridade desse algoritmo é que pode ocorrer do arquivo descomprimido conter algum "lixo" no último byte. Isso acontece porque a escrita em arquivo só pode ser feita de byte em byte, porém o código gerado pelo LZ78-encode possui uma sequência de bits. Caso o número de bits não seja um múltiplo de 8, o último byte precisa ser preenchido com uma sequência de 0s, o que pode alterar o último byte na hora da descompressão. Isso poderia ser contornado com alguma flag no início do arquivo comprimido, informando quantos bits devem ser descartados do último byte. Deixamos isso como trabalho futuro.

---

<sup>1</sup>[http://en.cppreference.com/w/cpp/container/vector\\_bool](http://en.cppreference.com/w/cpp/container/vector_bool)

### 3.3 Descrição do formato .idx

A ferramenta *ipmt* gera e lê arquivos no formato .idx. Esse arquivo é gerado da seguinte forma para um arquivo de entrada file.txt:

1. Primeiramente é gerado o Linear Suffix Array a partir do conteúdo de file.txt.
2. Após isso, conta-se o número de linhas de file.txt.
3. É criado um novo arquivo com o seguinte conteúdo:

```
[Número de linhas contidas em file.txt]
[Conteúdo de file.txt]
[Elementos do LSA separados por um espaço]
```

(Note que quebras de linha separam os elementos acima.)

4. Esse novo arquivo é então comprimido usando o LZ78, gerando o arquivo file.idx.

Na hora de ler o arquivo .idx, primeiro é realizada a descompressão. Através do resultado, a ferramenta sabe que a primeira linha contém o número de linhas do texto. Logo, as linhas seguintes são referentes ao LSA, que é utilizado pela busca.

## 4 Experimentos

Realizamos experimentos para responder às seguintes perguntas:

1. Como a nossa implementação do LZ78 se compara ao gzip?
2. Como a etapa de busca de padrão do *ipmt* se compara ao grep?
3. Como a nossa implementação do *ipmt* se compara ao codesearch [1]?

Foram implementados scripts em BASH para controlar os experimentos e fazer medições, gerando arquivos .raw de saída contendo resultados. Foram também implementados scripts em R que desenham gráficos de acordo com os arquivos .raw gerados pelos scripts BASH.

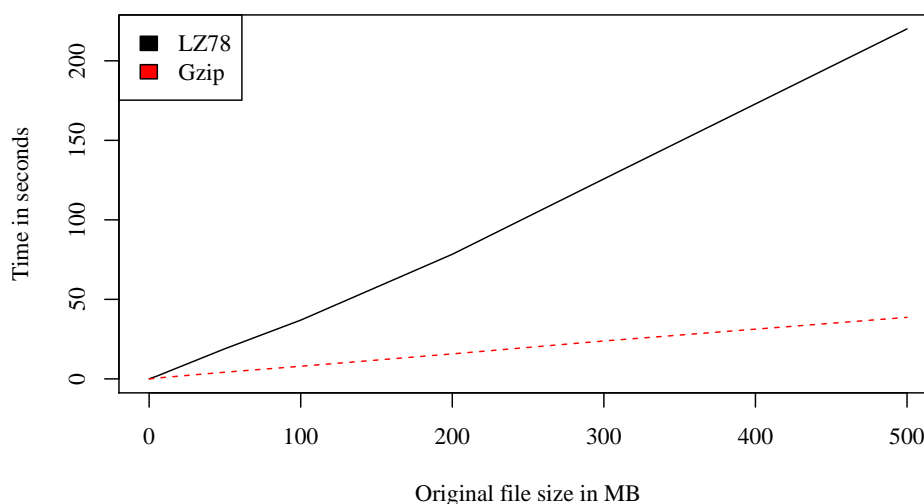
Todos os experimentos foram realizados em uma máquina com processador Intel Core i5 2.6Ghz e 8Gb de RAM. Cada medição de tempo nos experimentos foi realizada 10 vezes, e somente a média foi considerada e reportada nos resultados. Todos os scripts e resultados estão disponíveis no diretório experiments.

## 4.1 Como a nossa implementação do LZ78 se compara ao gzip?

Nós comparamos a nossa implementação do LZ78 com o gzip em dois aspectos: Tempo e taxa de compressão. Para realizar essa comparação, nós dividimos um arquivo<sup>2</sup> que contém 1GB de texto em inglês em arquivos de tamanhos distintos: 100KB, 200KB, 300KB, 700KB, 1MB, 2MB, 3MB, 5MB, 50MB, 100MB, 200MB, 300MB, 500MB e 1GB. Cada arquivo desse contém os primeiros n bytes do arquivo original, onde n é o tamanho do arquivo.

### 4.1.1 Tempo

Abaixo está um gráfico que relaciona o tempo que leva para comprimir um arquivo com o tamanho dele, para ambos o nosso LZ78 e o gzip.



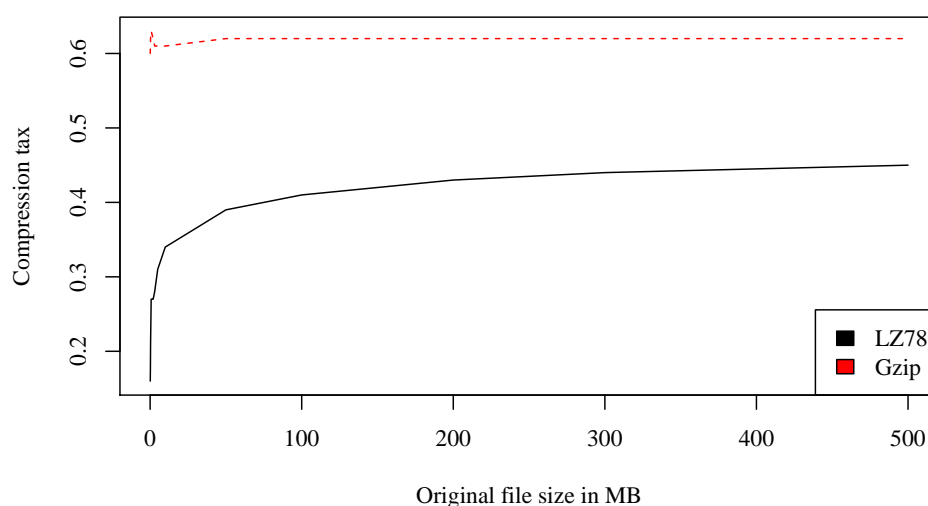
Ambas as funções são (ou se aproximam muito de) retas, o que comprova que a nossa implementação do LZ78, bem como o gzip, acontecem em tempo linear de acordo com o tamanho do arquivo. Porém, a constante que multiplica a função do gzip é bem menor do que a nossa. Isso acontece porque o gzip está em desenvolvimento a mais de 23 anos, onde experts estão sempre

<sup>2</sup> <http://pizzachili.dcc.uchile.cl/texts/nlang/english.1024MB.gz>

otimizando o algoritmo, fazendo com que essa constante da função linear seja cada vez menor.

#### 4.1.2 Taxa de compressão

Abaixo está um gráfico que relaciona a taxa de compressão de um arquivo com o tamanho dele, para ambos o nosso LZ78 e o gzip.



## Referências

- [1] codesearch. <https://github.com/google/codesearch>.
- [2] J. Kärkkäinen and P. Sanders. Simple linear work suffix array construction. In *Automata, Languages and Programming, 30th International Colloquium, ICALP 2003, Eindhoven, The Netherlands, June 30 - July 4, 2003. Proceedings*, pages 943–955, 2003.
- [3] J. A. Storer. *Data Compression: Methods and Theory*. Computer Science Press, Inc., New York, NY, USA, 1988.