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

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 algorítmo 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 algorítmo LZ78 e da interface de comunicação entre os algoritmos.
- Raul: Implementação das estruturas de indexação Linear Suffix Array (LSA) e Linear Suffix Tree (ST).

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, um arquivo comprimido que contém o conteúdo de file.txt e um índice para esse arquivo 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.

Os dois últimos modos não foram pedidos na especificação do projeto, mas nós os criamos para facilitar a comparação do nosso algoritmo de compressão e descompressão com algoritmos existentes.

3 Implementação

Todos os algoritmos foram implemetados 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 Linear Suffix Tree

O algoritmo de indexação implementado[1] teve como base [4] para a construção em tempo linear de uma árvore de sufixos. A estrutura implementada representa todos os sufixos de uma cadeia. A implementação contém alguns truques para que a construção seja feita em tempo linear. Um desses truque é adicionar aos nós suffix links, também chamados como transições de falha ou fronteiras. Devido ao alto consumo de memória ao gerar a árvore de sufixo, resolvemos deixar a feature de melhorar o gerenciamento de memória para o futuro. Por consequência não foi gerado os índices dos sufixos, mas existe a opção de busca exata retornando o número de ocorrências de um dado padrão. Segundo [1] se o núcleo da implementação for orientada a objeto, a árvore de sufixo apresenta efeitos indesejáveis de memória fragmentada.

[1] Apesar de termos implementado o ST, não conseguimos o fazer de maneira eficiente, portanto não o integramos à interface *ipmt*. A implementação ST.cpp está disponível para que sejam realizadas buscas.

3.1.3 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 caractere de mismatch.

Durante a compressão (LZ78-encode), o dicionário é criado dinâmicamente 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 != 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 U 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 Linear Suffix Tree

Inicialmente na construção do Linear Suffix Tree foi necessário criar um nó auxiliar ($\perp$) o qual possue transições de todas as letras do alfabeto para o nó inicial (root) que corresponde a uma cadeia vazia (ε). Após essa etapa, uma construção on-line é feita adicionando caracter por caracter a árvore através das funções *update* e *canonize*. A função update transforma a árvore na iteração anterior em uma árvore na iteração corrente inserindo transições

do caracter corrente a ser adicionado. A função *update* utiliza a função *canonize* e a função *test_and_split* que testa se há ou não referência a um nó terminador. Ao final da função *update* é retornado a referência do par do nó terminador. Após adicionar todos os caracteres a árvore de sufixo está devidamente montada e pronta para realizar buscas de padrões exatos.

3.2.3 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[2]. Optamos por essa estrutura de dados pois ela possui uma otimização de espaço: Um bool em C++ ocupa 8 bits (1 byte) de memória, porém um vector de bool usa somente 1 bit para cada elemento.

Outra peculiaridade desse algorítmo 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 é 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, pois verificamos através de experimentos que isso pouco afeta o desempenho e resultados do algorítmo.

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 contéudo:

[2] http://en.cppreference.com/w/cpp/container/vector_bool

```
[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

Comparamos nossas implementações com o gzip[3], grep[4] e com o codesearch[5]. 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?

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*.

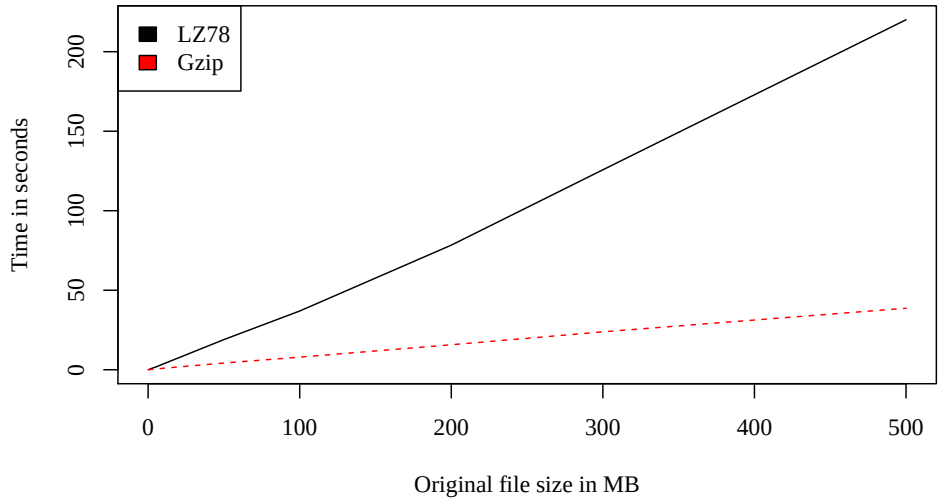
[3] http://www.gzip.org/
[4] https://www.gnu.org/software/grep/
[5] https://github.com/google/codesearch

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[6] que contém 1GB de texto em inglês em arquivos de tamanhos distintos: 100KB, 200KB, 300KB, 700KB, 1MB, 2MB, 3MB, 5MB, 50MB, 100MB, 200MB, 300MB e 500MB. 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.

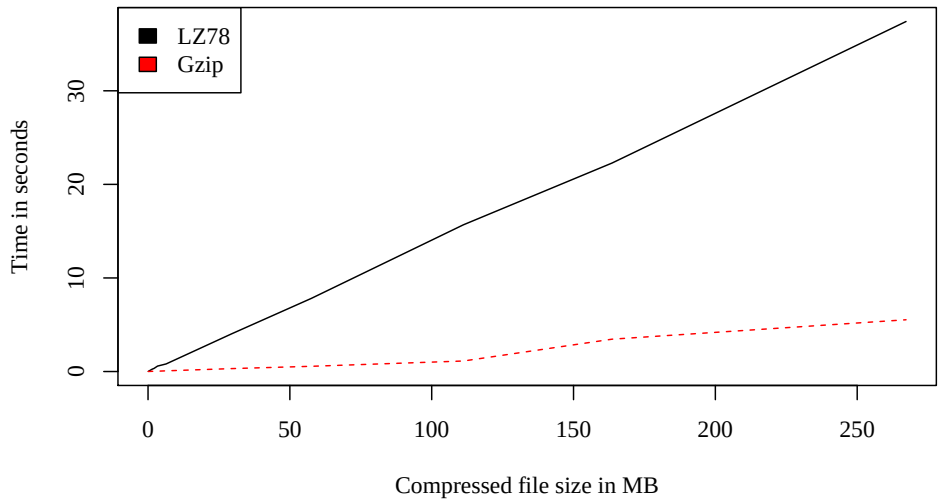


Ambas as funções são (ou se aproximam muito de) retas, o que comprova que a nossa implementação do LZ78, bem como o gzip, comprimem em tempo linear de acordo com o tamanho do arquivo. Porém, a constante que multiplica a função do gzip é bem menor do que a nossa. Isso acontece porque o gzip está em desenvolvimento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

[6] http://pizzachili.dcc.uchile.cl/texts/nlang/english.1024MB.gz

linear seja cada vez menor.

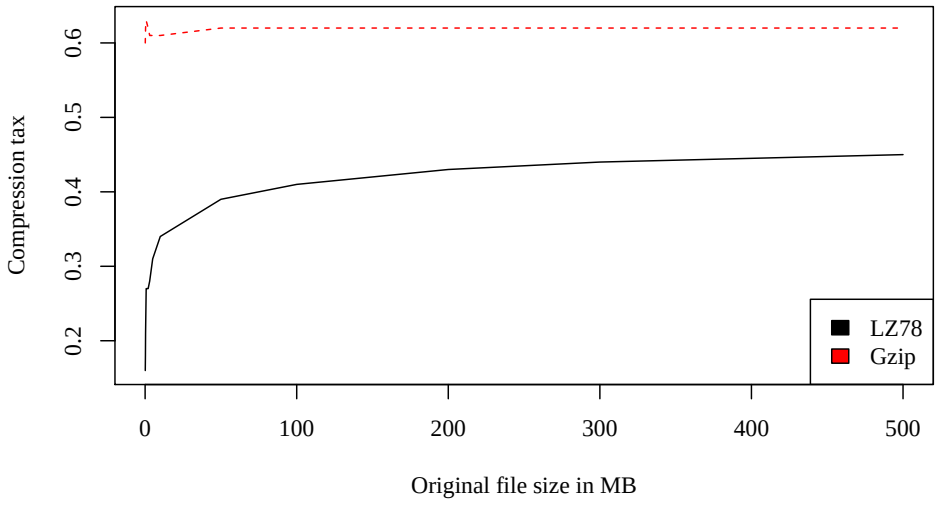
Os arquivos comprimidos acima foram descomprimidos com ambas as ferramentas LZ78 e gzip. Abaixo está um gráfico que relaciona o tempo que leva para descomprimir um arquivo e o tamanho dele.



Obtivemos novamente um resultado consistente com o anterior: ambos possuem complexidade linear, porém a constante da descompressão do gzip é muito superior à da nossa implementação. Isso ficou ainda mais acentuado na descompressão do que na compressão.

4.1.2 Taxa de compressão

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



Novamente, os resultados se assemelham quando analisados separadamente: Ambos possuem uma variação inicial (apesar do gzip ter uma bem menor) e se estabilizam para arquivos maiores. Porém, o gzip se estabiliza com uma taxa de compressão próxima de 60%, enquanto que o nosso LZ78 se estabiliza com uma taxa próxima de 42%. Recorremos novamente ao argumento de que o gzip está em desenvolvimento a muito mais tempo e por isso possui mais otimizações.

4.2 Como a etapa de busca de padrão do *ipmt* se compara ao grep?

Para responder à essa pergunta nós utilizamos a ferramenta *ipmt* para criar um índice de um arquivo de texto. Após isso comparamos o tempo de realizar buscas de diversos padrões utilizando *ipmt* no arquivo indexado e comparando com o tempo para pesquisar os padrões utilizando grep no texto original.

Nós consideramos somente o arquivo de 50MB pelo seguinte motivo: O arquivo .idx gerado pela ferramenta *ipmt* possui ambos o texto original e o índice comprimidos. Acontece que o array do nosso LSA tem, em média, quase 10 vezes o tamanho do arquivo original. Ou seja, indexar e comprimir um arquivo de 50MB acaba se tornando uma tarefa de comprimir um arquivo

de aproximadamente 500MB, que dura pouco mais de 4 minutos. Nesse caso, nossa compressão criou um arquivo .idx de 341MB, onde as buscas serão realizadas. Indexar e comprimir arquivos maiores do que 50MB é uma tarefa custosa para nossas implementações.

4.3 Como a nossa implementação do *ipmt* se compara ao codesearch?

[[**add text**]]

Referências

[1] B. Dorohonceanu and C. Nevill. A practical suffix-tree implementation for string searches. In *Algorithmica*, 2000.

[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.

[4] E. Ukkonen. On-line construction of suffix trees. In *Algorithmica*, pages 249–260, 1995.