


# Projeto e Análise de Algoritmos

## Aula 08 – Maior Subsequência Comum (LCS)

Edirlei Soares de Lima  
<edirlei@iprj.uerj.br>



# Problema

- **Subsequência:** sequência de caracteres não necessariamente contínuos, retirados de uma cadeia em ordem.
  - Exemplo: **AAAG** é subsequência da cadeia **CGATAATTGAGA**
- **Problema:** Dadas duas sequências  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  e  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ , encontrar uma subsequência de maior tamanho ( $LCS(X, Y)$ )

# Problema

- **Problema:** Dadas duas sequências  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  e  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ , encontrar uma subsequência de maior tamanho (LCS(X, Y))
- **Exemplo:**
  - $X = \{A, B, C, B, D, A, B\}$
  - $Y = \{B, D, C, A, B, A\}$
  - $\text{LCS}(X, Y) = \{B, C, B, A\}$  ou  $\{B, D, A, B\}$

# Problema

- **Exemplo de Aplicação:** análise do DNA de dois ou mais organismos distintos.
  - Um DNA é composto por uma sequência de moléculas, chamadas de bases:
    - Adenina (A); Timina (T); Citosina (C); Guanina (G).
  - Exemplo: ACGGGTAGTCGCAA
  - Computacionalmente, um DNA pode ser visto como um vetor de caracteres, com o alfabeto {A, T, G, C}

# Problema

- Dado os DNAs de dois organismos:
  - $S_1 = \text{ACCGTGGAAAAGGTTAAGGCCAGGATTTAACCGCGGGC}$
  - $S_2 = \text{ACCGCGGTTTAATCCGGATAGGTTGAAATGGTTGAAAC}$
- É possível questionar:
  - Quão semelhantes são estes dois organismos?
  - Estes organismos são da mesma espécie?
  - Um destes organismos é ancestral do outro organismo?
- As respostas vão depender de semelhanças.

# Como Resolver?

- **Problema:** Dadas duas sequências  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  e  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ , encontrar uma subsequência de maior tamanho (LCS(X, Y))
- **Exemplo:**
  - $X = \{A, B, C, B, D, A, B\}$
  - $Y = \{B, D, C, A, B, A\}$
  - $\text{LCS}(X, Y) = \{B, C, B, A\}$  ou  $\{B, D, A, B\}$

# LCS – Força Bruta


- **Algoritmo:** Enumera-se todas as possíveis subsequências de  $X$ . Checa-se se cada uma destas subsequências também é subsequências de  $Y$ , guardando a de maior comprimento.
- Complexidade?
  - Existem  $2^m$  subsequências diferentes de  $X$ ;
  - Tempo linear para verificar se a subsequência de  $X$  está em  $Y$ ;
  - $O(2^m n) = \mathbf{O(2^m)} \rightarrow \mathbf{INEFICIENTE!}$

# LCS – Força Bruta

- Outras soluções?



# LCS – Programação Dinâmica

- **Solução:** Programação Dinâmica!
  - **Ideia:** quebrar o problema em subproblemas, com estrutura semelhante ao problema geral. Armazena-se a solução para cada um desses subproblemas para utiliza-las para a solução geral.
- 

# LCS – Programação Dinâmica

- Dada uma sequência  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , define-se o  $i$ -ésimo prefixo de  $X$ , para  $i = 0, 1, 2, \dots, m$  como  $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$
- Por exemplo, dada a sequência  $X = \{A, B, C, B, D, A, B\}$ 
  - $X_0 = \{\}$
  - $X_3 = \{A, B, C\}$
  - $X_4 = \{A, B, C, B\}$

# LCS – Programação Dinâmica

- Uma  $LCS(X, Y)$  pode ser obtida recursivamente da seguinte forma:
  - Se  $x_m = y_n$  deve-se procurar uma  $LCS(X_m-1, Y_n-1)$  e depois acrescentar  $x_m$  ou  $y_n$ .
  - Se  $x_m \neq y_n$ , então deve-se resolver 2 subproblemas:
    - Encontrar uma  $LCS(X_m-1, Y_n)$ ;
    - Encontrar uma  $LCS(X_m, Y_n-1)$ ;
    - Sendo a LCS mais longa destas duas.

# LCS – Programação Dinâmica

- Defina  $c(i, j)$  como o tamanho da LCS( $X_i, Y_j$ ):

$$c(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{se } i = 0 \text{ ou } j = 0 \\ C(i - 1, j - 1) + 1 & \text{se } i = j \\ \max\{c(i - 1, j), c(i, j - 1)\} & \text{se } i \neq j \end{cases}$$

# LCS – Programação Dinâmica

- Ideia do Algoritmo:
  - Considere duas sequências como entrada,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  e  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ;
  - Os valores  $c(i, j)$  são armazenados em uma tabela  $c[0..m, 0..n]$ , onde os valores são computados linha a linha, esquerda para direita;
  - Também há uma tabela  $b[1..m, 1..n]$  tal que são armazenados as entradas para a escolha da solução ótima dos subproblemas quando está se computando  $c(i, j)$ .

# LCS – Exemplo

- $X=BDCABA$  e  $Y=ABCBDAB$

	$Y_j$	A	B	C	B	D	A	B
$X_i$								
B								
D								
C								
A								
B								
A								

# LCS – Exemplo

- $X=BDCABA$  e  $Y=ABCBDAB$

	$Y_j$	A	B	C	B	D	A	B
$X_i$	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	1	1	1	1	1	1
D	0	0	1	1	1	2	2	2
C	0	0	1	2	2	2	2	2
A	0	1	1	2	2	2	3	3
B	0	1	2	2	3	3	3	4
A	0	1	2	2	3	3	4	4

# LCS – Algoritmo

```
1. LCS (X, m, Y, n)
2.   para i ← 0 até m faça
3.     c[i,0] ← 0
4.   para i ← 0 até n faça
5.     c[0,i] ← 0
6.   para i ← 1 até m faça
7.     para j ← 1 até n faça
8.       se  $X_i == Y_j$  então
9.         c[i,j] = c[i - 1, j - 1] + 1
10.        b[i,j] = "↖"
11.       senão se c[i - 1, j] ≥ c[i, j - 1] então
12.         c[i,j] = c[i - 1, j]
12.        b[i,j] = "↑"
14.       senão
15.         c[i,j] = c[i, j - 1]
16.        b[i,j] = "←"
17.   retorna c, b
```

$O(mn)$



# LCS – Algoritmo

- Algoritmo para imprimir a LCS na ordem correta:

```
1. PRINT-LCS(b, X, i, j)
2.   se i == 0 ou j == 0 então
3.     retorna
4.   se b[i, j] == "↖" então
5.     PRINT-LCS(b, X, i - 1, j - 1)
6.     escreva Xi
7.   senão se b[i, j] == "↑" então
8.     PRINT-LCS(b, X, i - 1, j)
9.   senão
10.    PRINT-LCS(b, X, i, j - 1)
```

# Exercícios

## **Lista de Exercícios 08 – Maior Subsequência Comum**

<http://www.inf.puc-rio.br/~elima/paa/>



# Leitura Complementar

- Halim e Halim. **Competitive Programming**, 3rd Edition, 2003.
- **Capítulo 6: String Processing**

