Suemy Inagaki
1811208

9,0

INF1608 – Análise Numérica: Prova 1 – 07/10/2021

Prof. Waldemar Celes
Departamento de Informática, PUC-Rio

*A prova é **individual**. As **justificativas** das resposta são essenciais. Respostas sem justificativas adequadas não serão consideradas na correção.*

As respostas devem ser escritas em **caligrafia própria**, digitalizadas e enviadas, em formato **pdf**, via EAD. Não esqueça de indicar *nome* e *número de matrícula* nas respostas.

O prazo para submissão **expira às 23:59h**.

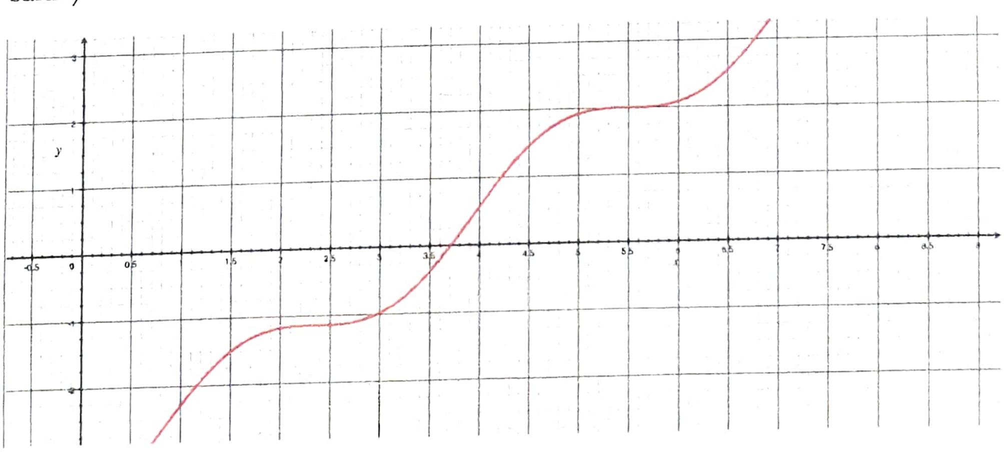
---

1. Se $fl(x)$ indica a representação do número x em precisão *double* nos computadores modernos, podemos afirmar que $fl(0.9)$ é maior que 0.9?

2. Considerando o Teorema de Taylor, deduza um polinômio $p(x)$, de grau 4, que aproxima a função $f(x) = sin(x)$ em torno de $x_0 = \pi/2$. Em seguida, escreva o código de uma função eficiente, usando a linguagem C, que avalia esse polinômio, com o protótipo:

```
double p (double x);
```

3. Analisando o gráfico da função $f(x) = \sin^2 x + x - 4$ mostrado abaixo, qual o valor retornado por uma *eficiente* implementação do Método da Bisseção após um total de 6 avaliações da função $f(x)$, assumindo um intervalo de busca $[a, b] = [0, 8]$? Indique o erro regressivo (avaliado na entrada) dessa solução e um limite superior do erro progressivo (avaliado na saída).



4. Assuma que um computador, usando uma implementação eficiente, resolve um sistema linear do tipo $U\mathbf{x} = \mathbf{b}$, onde U é uma matriz triangular superior de dimensão 500×500, em t unidades de tempo. Considerando uma implementação eficiente do método de fatoração $A = LU$, indique uma estimativa do número k de problemas do tipo:

$$A\mathbf{x} = \mathbf{b}_1, \cdots, A\mathbf{x} = \mathbf{b}_k$$

onde A é uma matriz cheia de dimensão 500×500, que este mesmo computador é capaz de resolver em $1000\,t$ unidades de tempo. Assuma que o tempo gasto é proporcional à ordem de complexidade dos procedimentos.

5. Considere o Método dos Mínimos Quadrados, via obtenção de um sistema de equações normais, para resolução de sistemas inconsistentes do tipo $A_{m\times n}\mathbf{x}_n = \mathbf{b}_m$. Indique o sistema de equações normais, $A'_{n\times n}\bar{\mathbf{x}}_n = \mathbf{b}'_n$, que melhor ajusta uma parábola $p(x) = ax^2 + bx + c$, ao seguinte conjunto de pontos (x, y):

$$(0,0), (1,3), (2,3), (5,6)$$

Não é necessário resolver o sistema, apenas mostre os valores que compõem o sistema normal $n \times n$.

Suemy Inagaki - 1811208 - P1 de Análise Numérica.

Q1

Representação binária do $(0{,}9)_{10}$:

$0{,}9 \times 2 = 0{,}8 + 1$
$0{,}8 \times 2 = 0{,}6 + 1$
$0{,}6 \times 2 = 0{,}2 + 1$
$0{,}2 \times 2 = 0{,}4 + 0$
$0{,}4 \times 2 = 0{,}8 + 0$
$0{,}8 \times 2 = 0{,}6 + 1$
$0{,}6 \times 2 = 0{,}2 + 1$
$0{,}2 \times 2 = 0{,}4 + 0$
$\vdots$

$\Rightarrow (0{,}1\overline{1100})_2$

1.0

Notação científica:

$(1.\overline{1100} \times 2^{-1})_2$

Em double, temos 52 bits para a mantissa e 11 bits para o expoente. Assim:

| 1 |
$\underbrace{1100 \cdots 1100}_{\text{52 bits mantissa}}$ $\underbrace{\qquad\qquad}_{\text{11 bits expoente}}$

Sinal 1 bit

O bit 53 é 0, portanto, descartamos os bits 53 em diante. Logo, no computador, o valor $(0{,}9)_{10}$ com precisão double é:

$$fl(0{,}9) = (0{,}1\underbrace{\overline{1100}}_{52\text{bits} = 13 \text{ vezes}})_2$$

Assim, comparando o valor real de $(0{,}9)_{10}$ e o valor representado no computador:

Real:

$0{,}1\overbrace{1100 \cdots 1100}^{52 \text{ bits}}1100\ldots$

No computador:

$0{,}1\overbrace{1100 \cdots 1100}^{52 \text{bits}}$

$\Rightarrow fl(0{,}9) < 0{,}9$

Logo, A resposta da Pergunta é NÃO.

O arredondamento é para baixo.

Questão 2

Grau 4 , $x_0 = \pi/2$, $f(x) = sen(x)$.

Teorema de Taylor:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!}(x-x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!}(x-x_0)^2 + \frac{f'''(x_0)}{3!}(x-x_0)^3 + \dots + \frac{f^{k+1}(\varepsilon)(x-x_0)^{k+1}}{(k+1)!}$$

2.0

~~abcde~~ As derivadas de $f(x)$ são:

$$f(x) = sen(x), \quad sen(\pi/2) = 1$$
$$f'(x) = cos(x), \quad cos(\pi/2) = 0$$
$$f''(x) = -sen(x), \quad -sen(\pi/2) = -1$$
$$f'''(x) = -cos(x), \quad -cos(\pi/2) = 0$$
$$f^{IV}(x) = sen(x), \quad sen(\pi/2) = 1$$
$$\vdots$$

Assim, para obtermos um polinômio do 4º grau, vamos precisar usar até o termo da quarta derivada:

$$f(x) = 1 + 0 + \left(\frac{-1}{2!}(x-\pi/2)^2\right) + 0 + \frac{1}{4!}(x-\pi/2)^4$$

$$f(x) = 1 - \frac{(x-\pi/2)^2}{2} + \frac{1}{24}(x-\pi/2)^4$$

$$f(x) = 1 + (x-\pi/2)^2\left(\frac{(x-\pi/2)^2}{24} - \frac{1}{2}\right)$$

$$\boxed{f(x) = 1 + \frac{(x-\pi/2)^2}{2}\left(\frac{(x-\pi/2)^2}{12} - 1\right)}$$

Função que avalia o polinômio:

```c
#define PI 3.14159265358979323846

double p(double x){
    double aux = x - PI/2;
    aux = aux * aux;
    return (1 + (aux/2)* (aux/12 -1));
}
```

Questão 3

$f(x) = \operatorname{sen}^2(x) + x - 4$, $a = 0$, $b = 8$ 6 avaliações de $f(x)$.

→ em uma implementação eficiente

O número de avaliações é dado por $n+2$, onde n é o número de iterações. Assim:

2.0

$$6 = n + 2 \Rightarrow n = 4.$$

1ª iteração:

$a = 0$
$b = 8$
$c = 4$

A função em c é positiva e a função em a é negativa. Assim, $f(c) \cdot f(a) < 0$ e atualiza o valor de b.

2ª iteração

$a = 0$
$b = 4$
$c = 2$

$f(a)$ é negativo e $f(c)$ é negativo também. Então $f(a) \cdot f(c)$ é positiva e atualiza o valor de a.

3ª iteração

$a = 2$
$b = 4$
$c = 3$

$f(a)$ é negativa e $f(c)$ é negativa também. Então $f(a) \cdot f(c)$ é positivo e atualiza o valor de a.

4ª iteração

$a = 3$
$b = 4$
$c = 3{,}5$

$f(a)$ é negativo e $f(c)$ é negativo. $f(a) \cdot f(c) > 0$ e atualiza o valor de a

Fim do loop.

$a = 3{,}5$
$b = 4$
$c = 3{,}75$

Logo, a raiz encontrada é 3,75.

→ usei um programa em c para calcular.

O erro regressivo é dado por $|f(c)| = \boxed{0{,}0766823410824 8662}$

O limite superior do erro progressivo é $\text{Erro} < \dfrac{b-a}{2^{n+1}}$, onde $n = 4$.

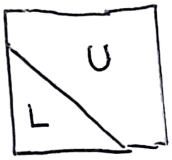
$$\text{Erro} < \frac{8-0}{2^5} \Rightarrow \frac{8}{2^5} \Rightarrow \frac{1}{4} = 0{,}25$$

Logo, o limite superior é $\boxed{0{,}25}$

Questao 4

2.0

Professor, eu confesso que fiquei na dúvida se a matriz A já estava fatorada ou não. Se ela já tivesse fatorada, a matriz U estaria na parte superior de A e a matriz L, ignorando a diagonal (pois sabemos que é 1), ficaria na parte inferior:

A = 

Se a matriz já tiver fatorada, a solução é a seguinte:

Para resolver o sistema $Ux = b$, onde U é a matriz triangular superior, basta usar o algoritmo da retrosubstituição, que tem complexidade $O(n^2)$.

Logo, podemos dizer que $O(n^2)$ é diretamente proporcional a t.

Para resolver $Ax = b$, como A já está fatorada:

$$\begin{cases} Ly = b \rightarrow \text{substituição progressiva } O(n^2) \\ Ux = y \rightarrow \text{substituição regressiva } O(n^2) \end{cases}$$

Ao realizar duas operações com complexidade $O(n^2)$, a complexidade final se mantém $O(n^2)$, entretanto, acredito que seja relevante considerar ~~dlee~~ que são duas "operações" com $O(n^2)$, então gastaria o dobro do tempo. ~~para~~ Assim, para resolver um problema do tipo $Ax = b_i$, precisariamos de um tempo $= 2t$.

Como o enunciado diz que o computador resolve k problemas no tempo 1000t, basta resolvermos a equação abaixo:

$$2\cancel{t} \cdot k = 1000\cancel{t} \Rightarrow \boxed{k = 500}$$

Agora, se a matriz ainda não tiver fatorada, eu tenho que levar em conta o tempo de fatoração. Sabemos que a complexidade da fatoração é $O(n^3)$. Sabemos que $n = 500$ e que $O(n^2) \propto t$, então podemos supor que $O(n^3)$ seja proporcional a $n * O(n^2) \Rightarrow O(n^3) \propto 500t$.

Assim, como o computador gasta $1000t$ para resolver k problemas e para fatorar uma vez a matriz A, teremos a seguinte equação:

$$1000t = \underbrace{2 * t * k}_{\text{resolver k problemas}} + \underbrace{500t}_{\text{fatorar 1 vez}}$$

$$\Rightarrow 500t = 2tk$$

$$\Rightarrow \boxed{250 = k}$$

Questão 5

2,0

Parábola $p(x) = ax^2 + bx + c$

$(0,0)$, $(1,3)$, $(2,3)$, $(5,6)$

$$A'_{(n \times n)} = A^T_{(n \times m)} \cdot A_{(m \times n)}$$

$$b'_n = A^T_{(n \times m)} \cdot b_{(m \times 1)}$$

Montando o sistema inconsistente:

$$\begin{cases} a \cdot 0 + b \cdot 0 + c \cdot 1 = 0 \\ a \cdot 1 + b \cdot 1 + c = 3 \\ a \cdot 4 + b \cdot 2 + c = 3 \\ a \cdot 25 + b \cdot 5 + c = 6 \end{cases}$$

$$A = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 4 & 2 & 1 \\ 25 & 5 & 1 \end{bmatrix}}_{(4 \times 3)} \overset{x}{\underbrace{\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}}_{(3)}} = \overset{b}{\underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 3 \\ 6 \end{bmatrix}}_{(4)}}$$

$$A^T A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 4 & 25 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 4 & 2 & 1 \\ 25 & 5 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 642 & 134 & 30 \\ 134 & 30 & 8 \\ 30 & 8 & 4 \end{bmatrix}$$

$\Rightarrow$ Continua.

$$A^T . b = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 4 & 25 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 3 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 165 \\ 39 \\ 12 \end{bmatrix}$$

Assim, $A' \bar{x} = b'$ é dado por:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 642 & 134 & 30 \\ 134 & 30 & 8 \\ 30 & 8 & 4 \end{bmatrix}}_{A'} \underbrace{\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}}_{\bar{x}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 165 \\ 39 \\ 12 \end{bmatrix}}_{b'}$$