

**Guía N°6: Sistemas de Ecuaciones Lineales**  
**Métodos Directos**

Cálculo Numérico 521230, 2018-2

- Sea  $\mathbf{U}$  una matriz de  $n \times n$  triangular superior invertible.
  - Diseñar un algoritmo que resuelva el sistema  $\mathbf{U}\mathbf{x} = \mathbf{b}$ .
  - Calcular el costo operacional medido en FLOP.
  - Si un computador realiza 1 gigaFLOP por segundo, ¿cuánto tardará en resolver el sistema anterior si  $n = 10^6$ ?

**Indicación:** Ver ejercicio realizado en clases para una matriz triangular inferior.

- Suponga que un computador tarda 20 segundos en realizar eliminación Gaussiana a una matriz de  $300 \times 300$ . Calcular el tiempo aproximado que tardará este mismo computador en resolver un sistema triangular del mismo tamaño.
- Realizar la descomposición LU de las siguientes matrices:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 3 \\ 1 & 1 & 9 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & 4 & 4 \\ 0 & 2 & 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Verificar en cada caso que al multiplicar  $\mathbf{LU}$  se obtiene la matriz  $\mathbf{A}$ .

- Realizar la descomposición LU con pivoteo parcial de las siguientes matrices:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 2 & -1 & 3 \\ 1 & 1 & 12 \end{pmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 4 & 4 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Verificar en cada caso que al multiplicar  $\mathbf{LU}$  se obtiene la matriz  $\mathbf{PA}$ .

- Utilizar OCTAVE para comprobar los resultados obtenidos en el Problema 4. **Indicación:** `[L,U,P] = lu(A);`
- Determinar cuales de las siguientes matrices son definidas positivas:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 2 & -1 & 3 \\ 1 & 1 & 12 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{pmatrix} 4 & -2 & 2 \\ -2 & 2 & -4 \\ 2 & -4 & 11 \end{pmatrix}.$$

- ¿A cuáles de las matrices del Problema 6 se le puede realizar la factorización de Cholesky?. Realice dicha factorización cuando corresponda. Verificar que al multiplicar  $\mathbf{LL}^t$  se obtiene la matriz original.
- Utilizar OCTAVE para comprobar los resultados obtenidos en el Problema 7. **Indicación:** OCTAVE entrega  $\mathbf{R} = \mathbf{L}^t$  a través del siguiente comando: `R = chol(A);`.

**Algoritmo de Thomas**

El siguiente ejercicios tiene como objetivo deducir el Algoritmo de Thomas.

- Considere la matriz tridiagonal

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} b_1 & c_1 & 0 & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 0 \\ 0 & a_3 & b_3 & c_3 \\ 0 & 0 & a_4 & b_4 \end{pmatrix},$$

tal que  $|b_1| > |c_1|$ ,  $|b_2| \geq |a_2| + |c_2|$ ,  $|b_3| \geq |a_3| + |c_3|$  y  $|b_4| > |c_4|$ . Observemos que las matrices  $\mathbf{L}$  y  $\mathbf{U}$  de la factorización LU de la matriz  $\mathbf{A}$ , deben tener la siguiente forma:

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_4 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{U} = \begin{pmatrix} \beta_1 & \gamma_1 & 0 & 0 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_3 & \gamma_3 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_4 \end{pmatrix}.$$

a) Demuestre que

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= b_1, \\
 \gamma_1 &= c_1, \\
 \alpha_2 &= a_2/\beta_1, \\
 \beta_2 &= b_2 - \alpha_2\gamma_1, \\
 \gamma_2 &= c_2, \\
 \alpha_3 &= a_3/\beta_2, \\
 \beta_3 &= b_3 - \alpha_3\gamma_2, \\
 \gamma_3 &= c_3, \\
 \alpha_4 &= a_4/\beta_3, \\
 \beta_4 &= b_4 - \alpha_4\gamma_3.
 \end{aligned}$$

b) Utilizar lo obtenido en el problema anterior para encontrar la factorización LU de la matriz

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}.$$

2. Considere ahora la matriz tridiagonal

$$A = \begin{pmatrix} b_1 & c_1 & 0 & \cdots & 0 \\ a_2 & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & c_{n-1} \\ 0 & \cdots & 0 & a_n & b_n \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{n \times n}.$$

tal que

$$\begin{aligned}
 |b_1| &> |c_1|, \\
 (\forall i \in \{2, \dots, n-1\}) \quad |b_i| &\geq |a_i| + |c_i| \quad \text{y} \\
 |b_n| &> |a_n|,
 \end{aligned}$$

Observemos que las matrices  $\mathbf{L}$  y  $\mathbf{U}$  de la factorización LU de la matriz  $\mathbf{A}$ , deben tener la siguiente forma:

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \alpha_2 & \ddots & \ddots & & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \alpha_n & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{U} = \begin{pmatrix} \beta_1 & \gamma_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \gamma_{n-1} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \beta_n \end{pmatrix}.$$

a) Demostrar que

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= b_1, \\
 \gamma_1 &= c_1, \\
 \alpha_2 &= a_2/\beta_1, \\
 \beta_2 &= b_2 - \alpha_2\gamma_1, \\
 \gamma_2 &= c_2, \\
 \vdots & \\
 \alpha_n &= a_n/\beta_{n-1}, \\
 \beta_n &= b_n - \alpha_n\gamma_{n-1},
 \end{aligned}$$

y por tanto el Algoritmo de Thomas es:

|  |
|--|
| $\beta_1 = b_1$<br><b>For</b> $i = 2, \dots, n$<br>$\gamma_{i-1} = c_{i-1}$<br>$\alpha_i = a_i / \beta_{i-1}$<br>$\beta_i = b_i - \alpha_i \gamma_{i-1}$<br><b>end</b> |
|--|

- b) Calcular el costo operacional.
- c) Programar el Algoritmo de Thomas.
- d) Use el algoritmo programado para encontrar la factorización LU de

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}.$$