# Linear Algebra

September 16, 2025

# 1 Ma trận

Đặt $\mathbb{K} = \mathbb{Q}, \mathbb{R}, \mathbb{C}$

và $\mathbb{N} = \{1, ...\}$

với $m, n \in \mathbb{N}$

Ma trận $m \times n$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Trong đó $a_{ij} \in \mathbb{K}$

## 1.1 Loại ma trận

- Ma trận hàng.
- Ma trận cột.
- Ma trận 0.
- Ma trận vuông $\Leftarrow$ đường chéo.
- Ma trận bằng nhau.
- $M(m \times n, \mathbb{K}) = M_{m \times n}(\mathbb{K}) = M_{\mathbb{K}}(m \times n) = \{A = (a_{ij})_{m \times n} | a_{ij} \in \mathbb{K}\}$.
- Ma trận tam giác trên và Ma trận tam giác dưới, gọi chung là Ma trận tam giác.
- Ma trận đường chéo (vừa là mt tam giác trên và dưới).
- Ma trận đơn vị.

## 1.2 Phép toán

### 1.2.1 Cộng

$$A + B = (a_j + b_j)_{m \times n}$$

### 1.2.2 Nhân

**1 số với ma trận**

**2 ma trận**

$$A = (a_{ik})_{m\times n},\ B = (b_{kj})_{n\times p}$$

$$AB = C = (c_{ij})_{m\times p}$$

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + ... + a_{in}b_{nj}$$

**Thuật toán**

- Check cột $A$ = hàng $B$:
  - Nếu không $\rightarrow$ không giải được.
  - Nếu có $\rightarrow$ Ma trận đầu ra là ma trận (hàng $A$) $\times$ (cột $B$) $\rightarrow$ Tính $c_{ij}$ = giao hàng $A$ và cột $B$.

**Note**

$AB = AC$ và $A \neq 0 \not\rightarrow B = C$.

**Ma trận chuyển vị**

$$A = (a_{ij})_{m\times n}$$

$$A^T = (a_{ji})_{n\times m}$$

## 1.3 Ma trận bậc thang & ma trận rút gọn

### 1.3.1 Ma trận bậc thang

- Hàng không (nếu có).
- Hàng khác không
  - Phần tử chính (PTC) $\rightarrow$ PTC bên dưới luôn nằm bên phải PTC bên trên.

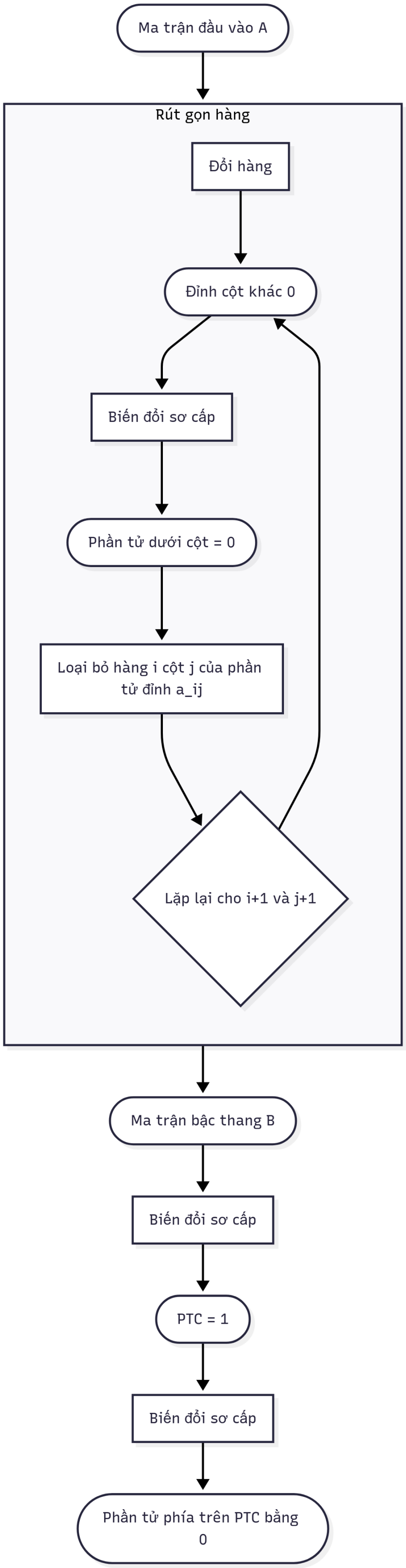
### 1.3.2 Ma trận rút gọn

- PTC = 1
- Cột chứa PTC $\rightarrow$ PTC là phần tử $\neq 0$ duy nhất.

## 1.4 Phép biến đổi

- Phép biến đổi sơ cấp, phép biến đổi hàng
  - Đổi hàng $h_i \leftrightarrow h_j$
  - Thay thế tỷ lệ $h_i \leftarrow \alpha h_i$
  - Thay thế hàng $h_i \leftarrow h_i + kh_j \quad (j \neq i)$
- Tương đương hàng
  - $A \rightarrow ... \rightarrow B$, $B \sim A$
  - $A \sim A$
  - $A \sim B \rightarrow B \sim A$
  - $A \sim B, B \sim C \rightarrow A \sim C$

### 1.4.1 Thuật toán cho số phép toán thực hiện nhỏ nhất



## 1.5 Hạng

$r(A) = rank(A)$ với $A = (a_{ij})_{m \times n}$

Số hàng $\neq 0$ trong **dạng rút gọn** (hoặc **dạng bậc thang**) của $A$ ($A \sim$ Dạng rút gọn (bậc thang))

$$0 \leq rank(A) \leq \min\{m, n\}$$

## 1.6 Ma trận khả nghịch

$$AB = BA = I_n$$

- Trong đó, $A$ là ma trận vuông cấp $n$
- $A$ là **ma trận khả nghịch**.
- $B$ là **ma trận nghịch đảo** của $A$.
- $B = A^{-1}$.
- Nếu tồn tại $B$, $B$ là duy nhất.

**Định lý**

- $(A^{-1})^{-1} = A$.
- $\alpha A$ khả nghịch và $(\alpha A)^{-1} = \frac{1}{\alpha} A^{-1}$.
- $AB$ khả nghịch và $(AB)^{-1} = B^{-1} A^{-1}$.
- $A^T$ khả nghịch và $(A^T)^{-1} = (A^{-1})^T$.

**Note**

- $A^k = A.A...A$
  - $A^k$ khả nghịch.
  - $A^{-k} = (A^k)^{-1}$.

### 1.6.1 Ma trận sơ cấp

Ta thực hiện 1 phép biến đổi sơ cấp trên $I_n$

$$I_n \xrightarrow{e} E$$

- $E$ đgl **ma trận sơ cấp**
- Tồn tại 3 loại ma trận sơ cấp $E$ tương ứng với 3 loại phép biến đổi sơ cấp.

$$EA = \overset{e}{\leftarrow} A$$

- Trong đó $\overset{e}{\leftarrow} A$ là ma trận A sau khi đã thực hiện phép biến đổi sơ cấp $e$.

$$A \xrightarrow{e_1} A_1 \xrightarrow{e_2} A_2 ... \xrightarrow{e_k} D$$

Ta được

$$A_1 = E_1 A$$

$$A_2 = E_2 A_1 = E_2 E_1 A$$
$$\vdots$$
$$D = (E_k \dots E_1) A$$

Mà $A$ KN $\Leftrightarrow$ $A \sim I_n$

Do đó,

$$A \overset{e_1}{\to} \overset{e_2}{\to} \dots \overset{e_k}{\to} I_n$$

Vậy

$$I_n \overset{e_k}{\to} \overset{e_{k-1}}{\to} \dots \overset{e_1}{\to} A^{-1}$$

Hay

$$I_n = (E_1 \dots E_k) A$$

$$A^{-1} = (E_1 \dots E_k) I_n$$

### 1.6.2 Thuật toán tìm ma trận khả nghịch

Cho $A_{n\times n}$

- B1. Thiết lập $(A|I_n)$
- B2. $(A|I_n) \xrightarrow{\text{Biến đổi thành ma trận rút gọn}} (D|B)$
  - Nếu $D = I_n \to A$ khả nghịch và $A^{-1} = B$.
  - Nếu $D \neq I_n \to A$ không khả nghịch.

### 1.6.3 Tính chất

- $A \in M(n \times n, \mathbb{K})$
- $A$ khả nghịch.
- $r(A) = n$.
- $A$ là tích hữu hạn các ma trận sơ cấp
  - $I_n = (E_1 \dots E_k) A$
  - $A = E_k^{-1} \dots E_1^{-1}$

- $AX = B$ có nghiệm duy nhất $\forall B \in M(n \times p, \mathbb{K})$.
- $\exists B$ ma trận vuông cấp $n$ sao cho $AB = I_n$.
- $\exists C$ ma trận vuông cấp $n$ sao cho $CA = I_n$
- $A^T$ khả nghịch.

# 2 Định thức

## 2.1 Phép thế

- Cho $X = \{1, 2, ..., n\}$
- Song ánh $\sigma : X \to X$ đgl phép thế bậc $n$.

$$\sigma = \begin{pmatrix} 1 & 2 & ... & n \\ \sigma(1) & \sigma(2) & ... & \sigma(n) \end{pmatrix}$$

- Tập hợp các phép thế bậc $n$ k/h $|S_n| = n!$.

$$S_n = \{\sigma : X \to X | \sigma \text{ là song ánh}\}$$

- Phép thế đơn vị
- Phép thế sơ cấp
- Cấu trúc
  - Mỗi phép thế đều phân tích được thành tích của các tích độc lập
  - Tích phép thế sơ cấp.

### 2.1.1 Dấu

$$sgn(\sigma) = \underset{1 \leq i < j \leq n}{\pi} \frac{\sigma(i) - \sigma(j)}{i - j} \quad \in \{\pm 1\}$$

**Nghịch thế**

- Là số lượng $\sigma(i) - \sigma(j)$ ngược với $i - j$ hay số lượng

$$\frac{\sigma(i) - \sigma(j)}{i - j} < 0$$

- Nếu số lượng nghịch thế
  - Chẳn $\to sgn(\sigma) = 1$.
  - Lẻ $\to sgn(\sigma) = -1$.
- **Note:** Phép thế sơ cấp là phép thế lẻ.