

3

Lineáris egyenletrendszerek

Matematika G2 – Lineáris algebra

Utoljára frissítve: 2025. február 24.

3.1. Elméleti Áttekintő

Az m egyenletből és n ismeretlenből álló lineáris egyenletrendszer általános alakja:

$$\begin{array}{cccccc} a_{11}x_1 & + & a_{12}x_2 & + & \dots & + & a_{1n}x_n & = & b_1, \\ a_{21}x_1 & + & a_{22}x_2 & + & \dots & + & a_{2n}x_n & = & b_2, \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m1}x_1 & + & a_{m2}x_2 & + & \dots & + & a_{mn}x_n & = & b_m, \end{array}$$

ahol a_{ij} az együtthatókat, b_j a konstansokat, x_j pedig az ismeretleneket jelöli.

Egy lineáris egyenletrendszer felírható $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ alakban, ahol \mathbf{A} az együttható mátrix, \mathbf{x} az ismeretlenek vektora, \mathbf{b} pedig a konstans vektor.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}} \underbrace{\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}} = \underbrace{\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}}_{\mathbf{b}}$$

Tétel 3.1: LER megoldhatóságának szükséges és elégséges feltétele

Az $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ lineáris egyenletrendszer akkor és csak akkor oldható meg, ha $\text{rg}(\mathbf{A}) = \text{rg}(\mathbf{A}|\mathbf{b})$, ahol az $(\mathbf{A}|\mathbf{b})$ mátrixot kibővített mátrixnak nevezzük.

A feltétel mátrixosan:

$$\text{rg} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} = \text{rg} \left[\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & b_n \end{array} \right].$$

Definíció 3.1: Homogén lineáris egyenletrendszer

Az $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ lineáris egyenletrendszer homogénnek mondjuk, ha $\mathbf{b} = \mathbf{0}$.

Ha $\mathbf{b} \neq \mathbf{0}$, akkor a lineáris egyenletrendszer inhomogén.

A feltételből következik, hogy homogén lineáris egyenletrendszer ($\mathbf{b} = \mathbf{0}$) mindig megoldható, hiszen az együttható mátrixból és egy nullvektorból képzett kibővített mátrix rangja mindig meg fog egyezni az együttható mátrix rangjával.

Lineáris egyenletrendszer csoportosítása:

- A LER **megoldható**, ha létezik megoldása.
- A LER **ellentmondó**, ha nincs megoldása.
- A LER **határozott**, ha csupán egyetlen megoldása van.
- A LER **határozatlan**, ha végtelen sok megoldása van.

A megoldások vizsgálata:

Megoldás akkor létezik, ha \mathbf{b} előállítható \mathbf{A} oszlopvektorainak lineáris kombinációja-ként, azaz ha $\text{rg } \mathbf{A} = \text{rg}(\mathbf{A}|\mathbf{b})$.

Ha $\text{rg } \mathbf{A} \neq \text{rg}(\mathbf{A}|\mathbf{b})$, akkor az egyenletrendszernek nincs megoldása.

Ha $\text{rg } \mathbf{A} < n$, vagyis az együttható mátrix rangja kisebb, mint az ismeretlenek száma, akkor az egyenletrendszernek végtelen sok megoldása van. Az \mathbf{A} mátrix rangja segítségével meghatározható, hogy hány paramétert kell bevezetnünk a megoldás megadásához:

$$p = n - \text{rg } \mathbf{A}, \text{ ahol } p \text{ a paraméterek száma.}$$

Megoldási módszerek:

1. **Mátrixinverz módszer:** ha az \mathbf{A} mátrix reguláris, akkor invertálható és $\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{b}$.
2. **Cramer-szabály:** ha az \mathbf{A} mátrix reguláris, akkor az együtthatók az alábbi módon számíthatóak:

$$x_i = \frac{\det \mathbf{A}_i}{\det \mathbf{A}},$$

ahol az \mathbf{A}_i mátrixot úgy képezzük, hogy az i -edik oszlopába \mathbf{b} vektort írjuk be.

3. **Gauss-elimináció:** elemi átalakításokkal (sorműveletekkel) átalakítjuk a kibővített mátrixot.

$$\left[\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} & b_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} & b_n \end{array} \right] \sim \left[\begin{array}{cccc|c} \square & \square & \cdots & \square & \square \\ 0 & \square & \cdots & \square & \square \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \circ & \circ \end{array} \right]$$

Célunk: felső háromszögmátrix alakra hozni a kibővített mátrixot.

A megoldások száma:

$$\left[\begin{array}{ccc|c} \text{Nincs mo.} & & & \\ \hline \square & \square & & \square \\ \hline 0 & & & \square \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{ccc|c} \text{1db mo.} & & & \\ \hline \square & \square & & \square \\ \hline 0 & \square & & \square \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{ccc|c} \infty \text{ mo.} & & & \\ \hline \square & \square & & \square \\ \hline 0 & 0 & & 0 \end{array} \right]$$

3.2. Feladatok

1. Adott egy léneáris egyenletrendszer \mathbf{A} mátrix típusa, rangja, illetve a kibővített mátrix rangja. Határozza meg az egyenletrendszer megoldásainak számát!

\mathbf{A}	$\text{rg } \mathbf{A}$	$\text{rg}(\mathbf{A} \mathbf{b})$
4×3	3	4
3×3	2	2
6×8	6	6
8×6	6	6
3×2	0	0

2. Oldja meg az alábbi léneáris egyenletrendszert mátrixinverz módszerrel!

$$x_1 + 3x_2 + 3x_3 = 3$$

$$x_1 + 3x_2 + 4x_3 = 6$$

$$x_1 + 4x_2 + 3x_3 = 9$$

3. Vezesse vissza az alábbi egyenletet léneáris egyenletrendszerre, majd oldja meg mátrixinverz módszerrel!

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ -2 & 3 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{Ax} = \mathbf{B} + 2\mathbf{x}$$

4. Cramer-szabály segítségével oldja meg az alábbi léneáris egyenletrendszert!

$$\begin{cases} 2x_1 - 3x_2 + x_3 = 0 \\ -3x_1 + 4x_2 - 2x_3 = 1 \\ 5x_1 + 4x_3 = -3 \end{cases}$$

5. Határozza meg $x_1 - x_2$ értékét!

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 = 5 \\ 2x_1 + x_2 + 2x_3 + 3x_4 = 1 \\ 3x_1 + 2x_2 + x_3 + 2x_4 = 1 \\ 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + x_4 = -5 \end{cases}$$

6. Oldja meg az alábbi léneáris egyenletrendszert Gauss-eliminációval!

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 = 2 \\ 3x_1 - x_2 + 2x_3 = 7 \\ x_1 - x_3 = -2 \\ 2x_1 + x_2 + x_3 = 7 \end{cases}$$

7. Oldja meg az alábbi léneáris egyenletrendszert Gauss-eliminációval!

$$\begin{cases} 5x_1 - x_2 + 2x_3 + x_4 = 7 \\ 2x_1 + x_2 + 4x_3 - 2x_4 = 1 \\ x_1 - 3x_2 - 6x_3 + 5x_4 = 0 \end{cases}$$

8. Oldja meg azt a léneáris egyenletrendszert, melynek a kibővített mátrixa $(\mathbf{A}|\mathbf{b})$ alakú!

$$(\mathbf{A}|\mathbf{b}) = \left[\begin{array}{ccccc|c} 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ -2 & -2 & -6 & -8 & 0 & 10 \\ 2 & 2 & -3 & -1 & 4 & 17 \\ -1 & -1 & 1 & 0 & 4 & 9 \\ 3 & 3 & 6 & 9 & 8 & 15 \end{array} \right]$$

9. Oldja meg az alábbi léneáris egyenletrendszert Gauss-eliminációval:

$$\begin{cases} x_1 + 3x_2 + 2x_3 = 0 \\ 2x_1 - x_2 + 3x_3 = 0 \\ 3x_1 - 5x_2 + 4x_3 = 0 \\ x_1 + 17x_2 + 4x_3 = 0 \end{cases}$$

10. Oldja meg azt a homogén léneáris egyenletrendszert, amelynek a együtthatóit az \mathbf{A} mátrix tartalmazza!

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -4 \\ 4 & 7 & 5 \\ 3 & 5 & 2 \\ 2 & 9 & 6 \end{bmatrix}$$

11. Az egyenletrendszer megoldása nélkül állapítsa meg, hogy csak a triviális megoldás létezik, vagy van nem triviális megoldás is!

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 - 4x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 - 7x_3 = 0 \\ 4x_1 - 5x_2 + 6x_3 = 0 \end{cases}$$

12. Adja meg C értékét, hogy megoldható legyen az egyenletrendszer!

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 3x_3 + x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 - 3x_3 - 2x_4 = 4 \\ -3x_1 - 5x_2 + 4x_3 + x_4 = C \end{cases}$$

13. Az egyenletrendszer megoldása nélkül állapítsa meg, hogy csak a triviális megoldás létezik, vagy van nem triviális megoldás is!

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 5x_5 = 0 \\ -x_1 + x_2 - 6x_4 + x_5 = 0 \\ 3x_2 + x_3 + 5x_4 - x_5 = 0 \\ 2x_3 - 7x_4 + 6x_5 = 0 \end{cases}$$

14. Az u és v paraméterek függvényében hány megoldása van az egyenletrendszernek, ha a kibővített mátrix $(\mathbf{A}|\mathbf{b})$ alakú?

$$(\mathbf{A}|\mathbf{b}) = \left[\begin{array}{ccc|c} 3 & 5 & -1 & 1 \\ 1 & u & 2 & 2 \\ 1 & 9 & -5 & v \end{array} \right]$$