

## 2. gyakorlat - Hatványsorok és Taylor-sorok

2022. március 31.

1. Adjuk meg az itt szereplő sorok konvergenciasugarát és konvergenciaintervallumát!

(a)

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{nx^n}{n+2}$$

A konvergenciasugar meghatározáshoz a következő határértéket kell meghatározunk.

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\frac{n}{n+2}} \rightarrow 1$$

Azaz a hatványsor konvergenciasugara 1. Az biztos, hogy a  $(-1,1)$  nyílt intervallum része a konvergenciatartománynak, de a határpontokat is meg kell még vizsgálnunk.

$$x = 1 \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+2}$$

A fenti sor divergens, mivel nem teljesül a konvergencia szükséges feltétele (az általános tag 0-hoz tartása).

$$x = -1 \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n n}{n+2}$$

Az előzőhöz hasonlóan ez a sor is divergens lesz, hisz itt sem teljesül a konvergencia szükséges feltétele. Tehát a konvergenciasugar 1, a konvergenciaintervallum:  $(-1,1)$ .

(b)

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{(2n)!}$$

A konvergenciasugar meghatározáshoz a következő határértéket kell meghatározunk.

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} = \frac{(2n)!}{(2n+2)!} = \frac{1}{(2n+1)(2n+2)} \rightarrow 0$$

Azaz a hatványsor konvergenciasugara  $\infty$ , a konvergenciaintervallum:  $\mathbb{R}$ .

(c)

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^2 + 1}$$

A konvergenciasugár meghatározáshoz a következő határértéket kell meghatározni.

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\frac{1}{n^2 + 1}} \rightarrow 1$$

Azaz a hatványsor konvergenciasugara 1. Az biztos, hogy a  $(-1,1)$  nyílt intervallum része a konvergenciatartománynak, de a határpontokat is meg kell még vizsgálnunk.

$$x = 1 \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2 + 1}$$

A fenti sor konvergens, ami majoránskritérium segítségével látható.

$$x = -1 \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2 + 1}$$

Ez a sor is konvergens lesz, hisz Leibniz típusú (az általános tag abszolút értékben monoton csökkenőleg tart a 0-hoz). Tehát a konvergenciasugár 1, a konvergenciaintervallum:  $[-1,1]$ .

(d)

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{\sqrt{n^2 + 3}}$$

A konvergenciasugár meghatározáshoz a következő határértéket kell meghatározni.

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} = \frac{\sqrt{n^2 + 3}}{\sqrt{(n+1)^2 + 3}} \rightarrow 1$$

Azaz a hatványsor konvergenciasugara 1. Az biztos, hogy a  $(-1,1)$  nyílt intervallum része a konvergenciatartománynak, de a határpontokat is meg kell még vizsgálnunk.

$$x = 1 \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{n^2 + 3}}$$

A fenti sor divergens, ami minoránskritérium segítségével látható.

$$x = -1 \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\sqrt{n^2 + 3}}$$

Ez a sor is konvergens lesz, hisz Leibniz típusú (az általános tag abszolút értékben monoton csökkenőleg tart a 0-hoz). Tehát a konvergenciasugár 1, a konvergenciaintervallum:  $[-1,1)$ .

(e)

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(4x-5)^{2n+1}}{n^{\frac{3}{2}}}$$

A feladat megoldása előtt át kell alakítanunk a fent megadott sort ténylegesen hatványsor alakba.

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(4x-5)^{2n+1}}{n^{\frac{3}{2}}} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4^{2n+1}}{n^{\frac{3}{2}}} \left(x - \frac{5}{4}\right)^{2n+1}$$

A konvergenciasugár meghatározáshoz a következő határértéket kell meghatároznunk.

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\frac{4^{2n+1}}{n^{\frac{3}{2}}}} \rightarrow 16$$

Azaz a hatványsor konvergenciasugara  $\frac{1}{16}$ . Az biztos, hogy a  $(\frac{19}{16}, \frac{20}{16})$  nyílt intervallum része a konvergenciatartománynak, de a határpontokat is meg kell még vizsgálnunk.

$$x = \frac{19}{16} \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-4)^{2n+1}}{n^{\frac{3}{2}}}$$

A fenti sor divergens, hiszen nem teljesül a konvergencia szükséges feltétele.

$$x = \frac{21}{16} \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4^{2n+1}}{n^{\frac{3}{2}}}$$

Ez a sor is divergens lesz, mert nem teljesül a konvergencia szükséges feltétele. Tehát a konvergenciasugár  $\frac{1}{16}$ , a konvergenciaintervallum:  $(\frac{19}{16}, \frac{21}{16})$ .

2. Mely x-ek esetén konvergens az

$$1 - \frac{1}{2}(x-3) + \frac{1}{4}(x-3)^2 + \dots + \left(-\frac{1}{2}\right)^n (x-3)^n + \dots$$

végtelen sor? Mi a sor összege? Melyik sort kapjuk tagonkénti deriválással? Mely x-ek esetén konvergens az új sor?

A fenti sort írjuk fel szumma alakban:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left(-\frac{1}{2}\right)^n (x-3)^n$$

Ebből már egyszerűen megállapíthatjuk a konvergenciasugárt a következő határérték meghatározásával.

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\left(\frac{1}{2}\right)^n} \rightarrow \frac{1}{2}$$

Azaz a hatványsor konvergenciasugara 2. Az biztos, hogy a (1,5) nyílt intervallum része a konvergenciatartománynak, de a határpontokat is meg kell még vizsgálnunk.

$$x = 1 \quad \sum_{n=0}^{\infty} 1^n$$

A fenti sor divergens, hiszen nem teljesül a konvergencia szükséges feltétele.

$$x = 5 \quad \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n$$

Ez a sor is divergens lesz, hiszen itt sem teljesül a konvergencia szükséges feltétele. Tehát a konvergenciaintervallum: (1,5).

A sor összegének meghatározásához a geometriai sor összegképletét használjuk.

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left(-\frac{1}{2}\right)^n (x-3)^n = \frac{2}{x-1}$$

A tagonkénti deriválással kapott új sor:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left(-\frac{1}{2}\right)^n n(x-3)^n$$

A konvergenciaintervallum meghatározásához itt is a következő határértéket kell megvizsgálnunk.

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{n \left(\frac{1}{2}\right)^n} \rightarrow \frac{1}{2}$$

Azaz a hatványsor konvergenciasugara 2. Az biztos, hogy a (1,5) nyílt intervallum része a konvergenciatartománynak, de a határpontokat is meg kell még vizsgálnunk.

$$x = 1 \quad \sum_{n=0}^{\infty} n$$

A fenti sor divergens, hiszen nem teljesül a konvergencia szükséges feltétele.

$$x = 5 \quad \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n n$$

Ez a sor is divergens lesz, hiszen itt sem teljesül a konvergencia szükséges feltétele. Tehát a konvergenciaintervallum itt is: (1,5).

3. Határozzuk meg az  $f(x)$  által (a jelzett helyen) generált Taylor-sort!

(a)

$$f(x) = x^3 - 2x + 4, \quad a = 0$$

$$f'(x) = 3x^2 - 2 \quad f'(0) = -2$$

$$f''(x) = 6x \quad f''(0) = 0$$

$$f'''(x) = 6 \quad f'''(0) = 6$$

$$f^{(n)}(x) = 0 \quad \forall n \geq 4$$

Tehát a keresett Taylor polinom:

$$T(x) = 4 + \frac{-2}{1!}x + 0 + \frac{6}{3!}x^3 = x^3 - 2x + 4$$

Ebből azt a következtetés vonhatjuk le, hogy polinom Taylor-sora önmaga.

(b)

$$f(x) = \frac{1}{x^2}, \quad a = 1$$

Teljes indukcióval igazolható, hogy a fenti  $f$  függvény  $n$ -edik deriváltja a következő alakú:

$$f^{(n)}(x) = \frac{(-1)^n(n+1)!}{x^{n+2}}$$

$$f^{(n)}(1) = (-1)^n(n+1)!$$

Ennek segítségével már egyszerűen felírható a Taylor-sor.

$$T(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n(n+1)!}{n!} (x-1)^n = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n(n+1)(x-1)^n$$

(c)

$$f(x) = e^x, \quad a = 2$$

A fenti  $f(x)$  függvény  $n$ -dik deriváltja:

$$f^{(n)}(x) = e^x \quad f^{(n)}(2) = e^2$$

Ennek segítségével már egyszerűen felírható a Taylor sor.

$$T(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^2}{n!} (x-2)^n$$

(d)

$$f(x) = \ln(1+x), \quad a = 0$$

A fenti  $f(x)$  függvény  $n$ -dik deriváltja:

$$f^{(n)}(x) = \frac{(-1)^{n+1}(n-1)!}{(x+1)^n}$$

$$f^{(n)}(0) = (-1)^{n+1}(n-1)!$$

Ennek segítségével már egyszerűen felírható a Taylor sor.

$$T(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}(n-1)!}{n!} x^n = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} x^n$$

(e)

$$f(x) = \arctan 2x, \quad a = 2$$

A fenti  $f(x)$  függvény deriváltja:

$$f'(x) = \frac{2}{1+4x^2}$$

Ezen függvény Taylor sorát fel tudjuk írni egyszerűen, se ebből tagonkénti integrálással megkapjuk az  $\arctan 2x$  függvény Taylor-sorát is.

$$f'(x) = 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-4)^n x^{2n}$$

Így már egyszerűen felírható a Taylor-sor:

$$T(x) = 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-4)^n x^{2n+1}}{2n+1} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (2x)^{2n+1}}{2n+1}$$

4. Adjuk meg a függvények Taylor-sorát az  $x=0$  helyen!

A feladat egyszerűen megoldható, hogy ha ismerjük a nevezetes függvények Taylor-sorát. Amennyiben nem emlékszünk rájuk, úgy a fenti feladatban leírt módszerrel dolgozzunk!

(a)

$$f(x) = xe^x$$
$$T(x) = x \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{n+1}}{n!}$$

(b)

$$f(x) = x \cos \pi x$$
$$T(x) = x \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(x\pi)^{2n}}{(2n)!} = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \pi^{2n} \frac{x^{2n+1}}{(2n)!}$$

(c)

$$f(x) = x \cos^2 x$$

A megoldás során felhasználjuk a következő linearizáló formulát:  $\cos^2 x = \frac{1+\cos 2x}{2}$

$$T(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!}$$

(d)

$$f(x) = \frac{1}{(1-x)^2}$$

A feladat kétféle módon is megoldható. A binomális sor képletének felhasználásával, vagy az  $\frac{1}{1-x}$  sor önmagával vett Cauchy-szorzataként. Itt most az első változatot használom.

$$T(x) = \frac{1}{(1-x)^2} = (1-x)^{-2} = \sum_{n=0}^{\infty} \binom{-2}{n} (-1)^n x^n$$

5. Írjuk fel a megadott függvények binomiális sorának első négy tagját!  
A feladat megoldása során a binomiális sor következő általános alakját használjuk:

$$(1+x)^\alpha \sum_{n=0}^{\infty} \binom{\alpha}{n} x^n$$

(a)

$$f(x) = (1-x)^{-\frac{1}{2}}$$

$$T_4(x) = \sum_{n=0}^4 \binom{-1/2}{n} (-x)^n = 1 + \frac{1}{2}x + \frac{3}{8}x^2 + \frac{5}{16}x^3$$

(b)

$$f(x) = (1+x^3)^{-\frac{1}{2}}$$

$$T_4(x) = \sum_{n=0}^4 \binom{-1/2}{n} x^{3n} = 1 + \frac{1}{2}x^3 + \frac{3}{8}x^6 + \frac{5}{16}x^9$$

(c)

$$f(x) = (1-2x)^3$$

$$T_4(x) = \sum_{n=0}^4 \binom{3}{n} (-2x)^n = 1 - 6x + 12x^2 - 8x^3$$

6. Sorok segítségével számítsuk ki a határértékeket!

(a)

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - (1+x)}{x^2}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - (1+x)}{x^2} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x^2} \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} - 1 - x \right) = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{x^{n-2}}{n!} = \frac{1}{2}$$

(b)

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x - \arctan x}{x^3}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x - \arctan x}{x^3} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x^3} \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n+1}}{2n+1} - x \right) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n-2}}{n!} = \frac{1}{3}$$

(c)

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln(1+x^2)}{1 - \cos x}$$

A keresett határérték: 2.

7. Sorok segítségével adjunk  $10^{-3}$  pontosságú becslést az alábbi határozott integrálokra!

Minden esetben a függvények 0 pont körüli Taylor-sorát használjuk közelítésként. Minden esetben elég a sor első három tagját tekintenünk, ugyanis akkor már a megadott pontosságú lesz a közelítésünk.

(a)

$$I = \int_0^{0.2} \sin x^2 dx$$

Az integrál utáni függvény Taylor polinomja:

$$T(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{4n+2}}{(2n+1)!}$$

$$T_3(x) = x^2 - \frac{x^6}{3!} + \frac{x^{10}}{5!}$$

A Taylor-sor ismeretében most már közelíthetjük a fenti integrált.

$$I \approx \left[ x^2 - \frac{x^6}{3!} + \frac{x^{10}}{5!} \right]_0^{0.2} = 0.2^2 - \frac{0.2^6}{3!} + \frac{0.2^{10}}{5!}$$

(b)

$$I = \int_0^{0.1} \frac{\sin x}{x} dx$$

Az integrál utáni függvény Taylor polinomja:

$$T(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n+1)!}$$

$$T_3(x) = 1 - \frac{x^2}{3!} + \frac{x^4}{5!}$$

A Taylor-sor ismeretében most már közelíthetjük a fenti integrált.

$$I \approx \left[ 1 - \frac{x^2}{3!} + \frac{x^4}{5!} \right]_0^{0.1} = \frac{0.1^2}{3!} + \frac{0.1^4}{5!}$$

(c)

$$I = \int_0^{0.1} \sqrt{1+x^4} dx$$

$$T(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \binom{1/2}{n} x^{4n}$$

$$T_3(x) = 1 + \frac{1}{2}x^4 - \frac{3}{4}x^8$$

A Taylor-sor ismeretében most már közelíthetjük a fenti integrált.

$$I \approx \left[ 1 + \frac{1}{2}x^4 - \frac{3}{4}x^8 \right]_0^{0.1} = 1 + \frac{1}{2}0.1^4 - \frac{3}{4}0.1^8$$