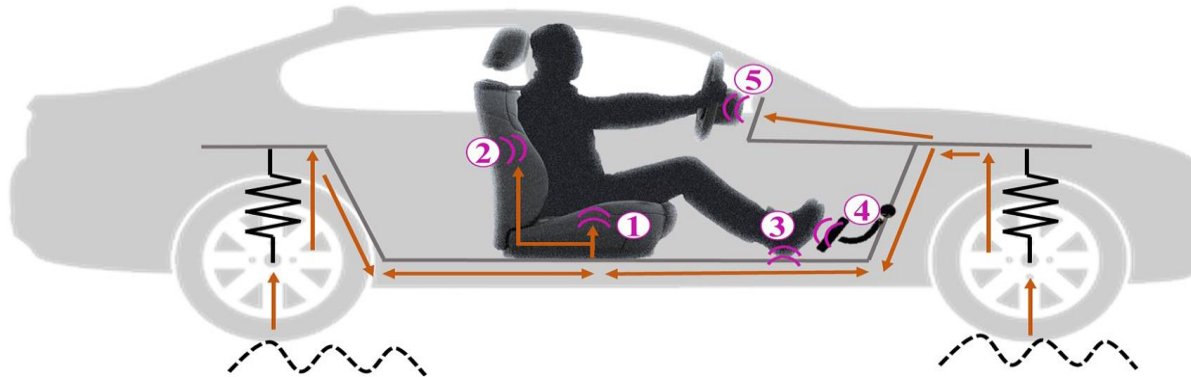


Gépjármű rezgési kényelmességének vizsgálata a fraktál-jellemzők alapján

Dr. Kohut József
c. egyetemi docens, nyugdíjas, óraadó
Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

A járművek rezgésének hatáslánca

- az út egyenetlensége -> a jármű futóműve -> a jármű alváza ->
- > az ülés felülete
 - > az ülés háttámlája
 - > a jármű padlója
 - > a kezelőszervek (pedál, kormány)
- a vezetőt/utast terhelő rezgés



A rezgéseknek az egészségre való hatása

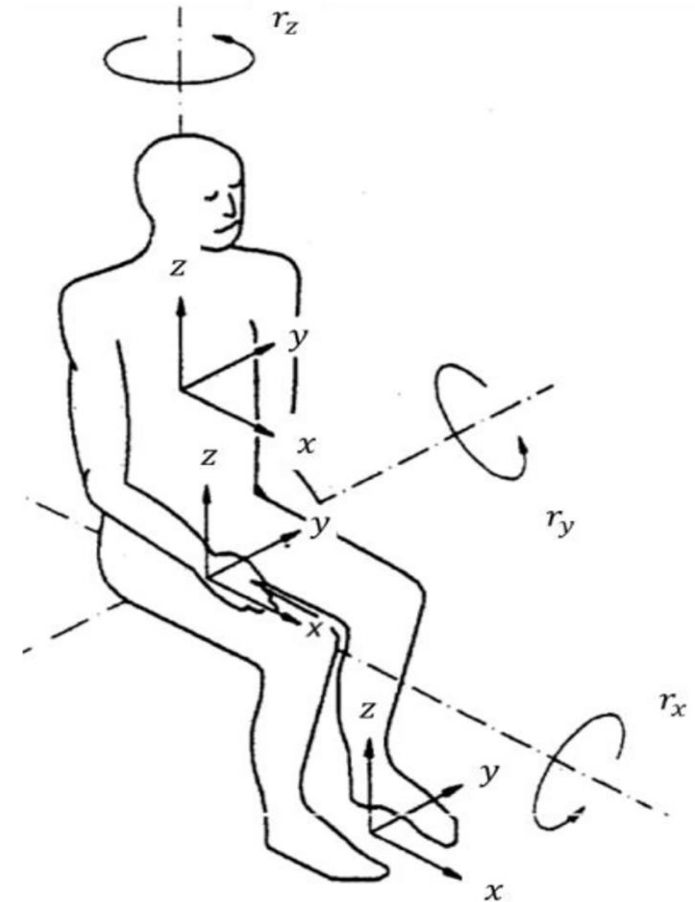
Az egészségre való hatás mértéke szerinti megkülönböztetés:

- Az **úrvezetőt** a rezgések **időlegesen** érik -> **kisebb károsodás**
- A **professzionális vezetőt** (tehergépkocsi, autóbusz, traktor vezetője) a rezgés **rendszeresen**, hosszú időtartamig éri
-> **jelentős (maradandó) károsodás**
- A károsodás területei: vese, agy, tüdő, szem

A jármű vezetőjét/utasát érő rezgések irányai

nemzetközi szabvány (ISO-2631) jelöli meg az emberi testet érő rezgések vonalmenti és elfordulási irányainak elnevezését:

- előre-hátra (gyorsítás-fékezés): x
- jobbra-balra (ingadozás, dőlés): y
- fel-le (az út egyenetlensége): z
- elfordulások: r_x r_y r_z



A rezgési gyorsulás jelentősége

- a testet érő rezgés **gyorsulás**ával arányos **erőhatás** keletkezik, ezért célszerű a gyorsulás mérése-elemzése
- az eredő gyorsulás a különböző irányú összetevőkből négyzetes összegzéssel számítható :

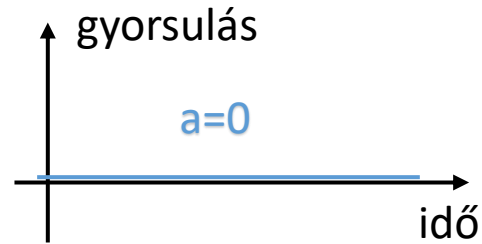
$$a_{eredő} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

feltételezve, hogy a különböző irányokban az emberi érzékenység azonos!

Az embert érő gyorsulások típusai

nincs gyorsulás

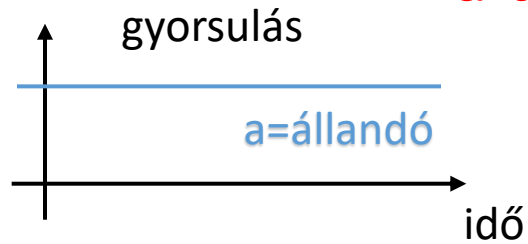
szubjektív értékelése: súlytalanság



állandó gyorsulás

szubjektív értékelése:

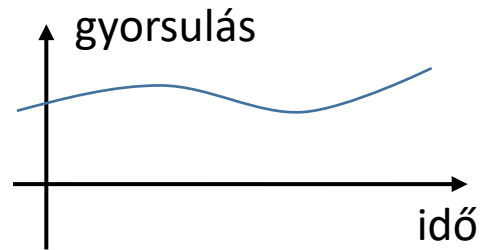
a testsúly növekedése-csökkenése



Az embert érő gyorsulások típusai

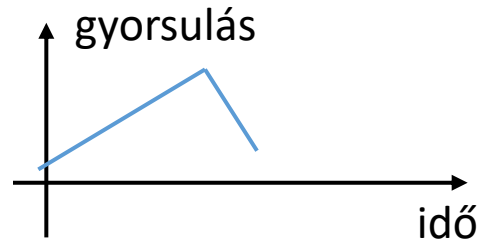
lassan változó gyorsulás

szubjektív értékelése: „ringatás”



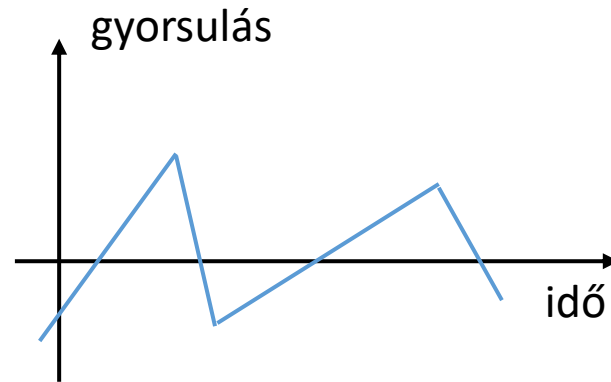
hirtelen változó gyorsulás

szubjektív értékelése: lökés, ütés



Az embert érő gyorsulások típusai

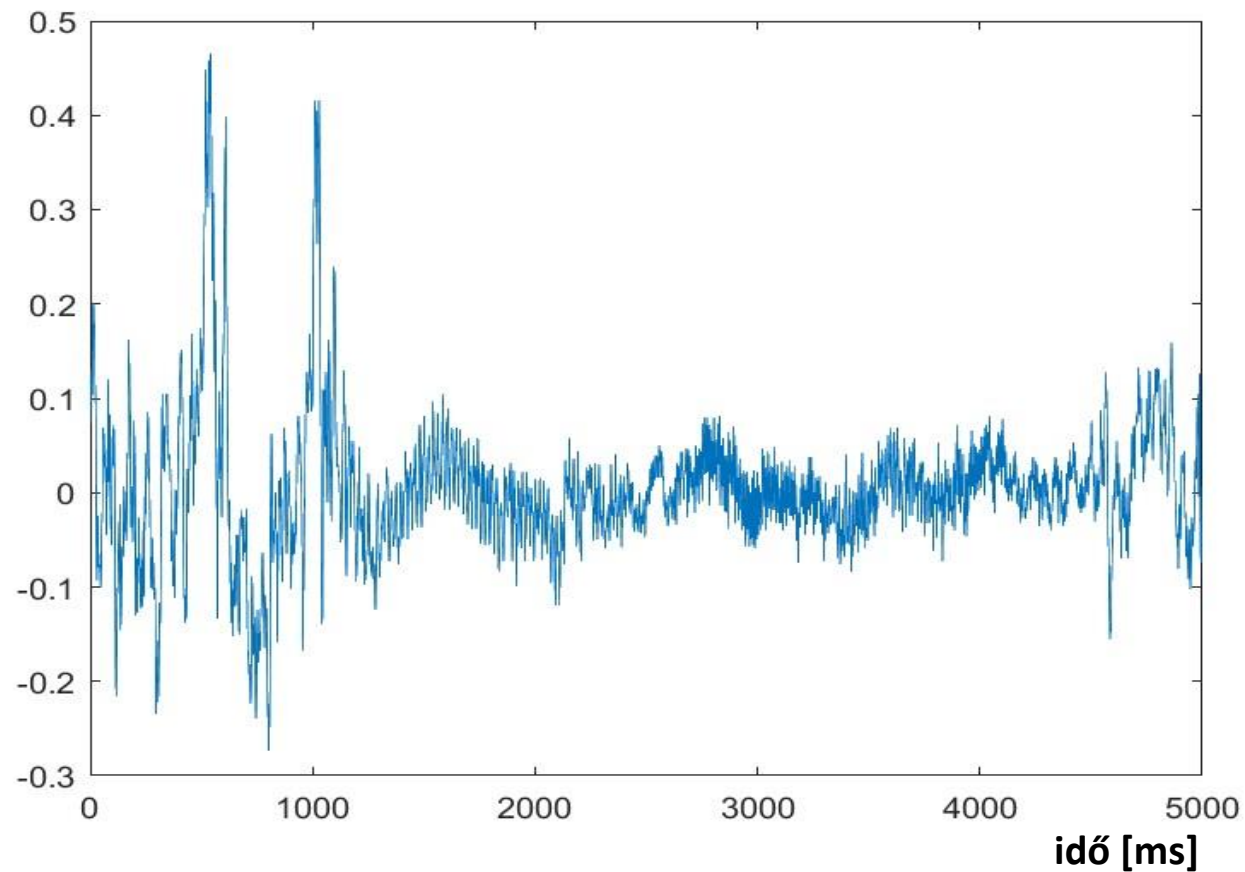
hirtelen változó, ismétlődő, váltakozó előjelű gyorsulás



szubjektív értékelése: lökdösődés, rázás

Példa egy úthiba által okozott rezgésre

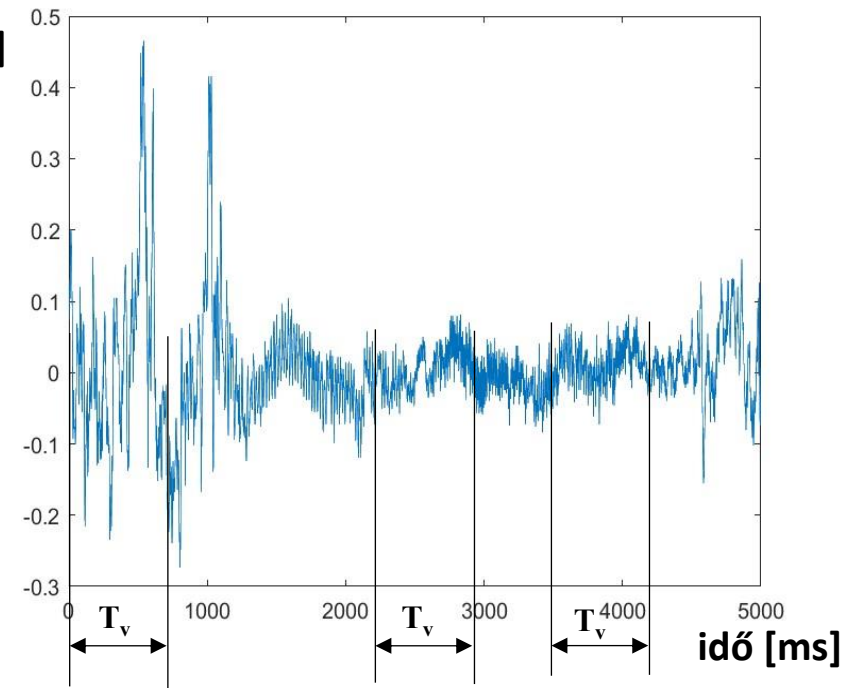
gyorsulás [G]



A stacionárius rezgések vizsgálata

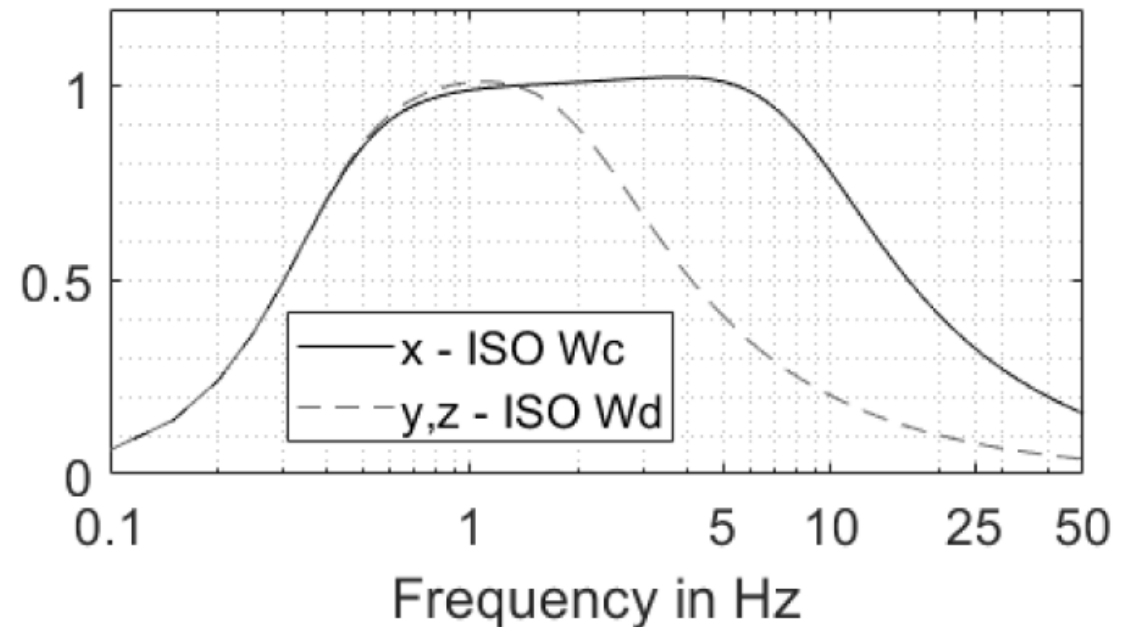
- a stacionárius („állandósult”) jelek vizsgálatára alkalmas módszerek:
 - amplitúdó-eloszlás/sűrűség függvény
 - teljesítmény-sűrűség spektrum
 - auto/kereszt korreláció függvények
- a rezgés változik a vizsgálati időablak hosszának és helyének változtatásával

a gépjármű rezgési gyorsulása
nem stacionárius jel!



A kényelmesség nemzetközi szabványa

- Az ISO-2631-1-1997 szabvány az emberi testet érő rezgések kényelmességét a **teljesítmény-sűrűség spektrum**nak frekvencia szerinti súlyozása alapján értékeli (a gyorsulás iránya szerint eltérő súlyozó tényezőkkel)
- A szabvány csak a stacionárius (lökésszerű gyorsulás nélküli) rezgésekre alkalmazható



Lökésszerű (sokkhatású) rezgések

- a sokkhatású rezgések eredő hatása: Palmgren-Miner elmélet (1945)
a anyagfáradások lineárisan összeadódnak (akkumulálódás)
- az ISO-2631-5-2018 szabvány definíciója a rezgések összességének kifejezésére:
a gyorsulás csúcsértékek ($\mathbf{A}_i$) hatodrendű összegeződése

$$\mathbf{D} = \left(\sum_i A_i^6 \right)^{\frac{1}{6}}$$

Nem-stacionárius jelek vizsgálata

A nem-stacionárius jelek vizsgálatának lehetőségei:

- stacionárius, de eltérő paraméterű időszakokra bontás,
időszakonként külön végzett vizsgálat

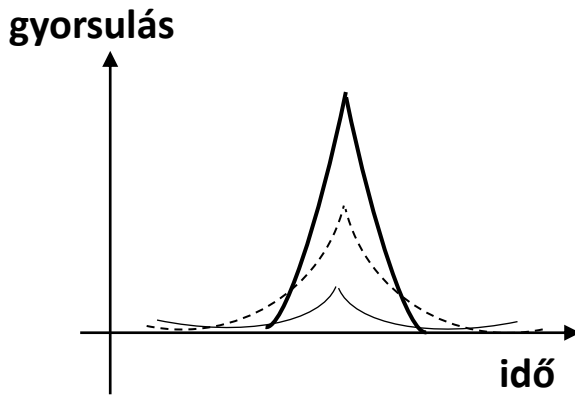
A rész-eredmények összesítése és a folyamat egészének jellemzése kérdéses!

- a **jel egészének vizsgálata** a fraktál jellemzők meghatározásával

A rezgési gyorsulás kényelmetlensége

A véletlenszerű gyorsulásokra való emberi érzékenységet befolyásolja

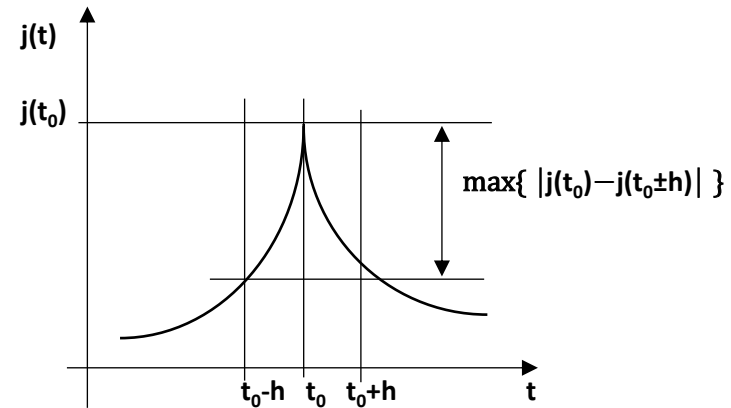
- a gyorsulás **nagysága** (minimális-maximális értéke, előjel-váltása)
- a gyorsulások előfordulási **gyakorisága** (amplitúdó-sűrűség függvény)
- a gyorsulás változási **meredekségének ugrásszerű előjelváltása** (a „lökés élessége”)



A Hölder-Lipschitz kitevő

A függvények „csúcsosságát” jellemzi az O. Hölder és R. Lipschitz által javasolt α hatványkitevő:

t_0 környezetében h (időbeli) távolságon belül a függvény megváltozása kisebb h -nak α -adik hatványánál

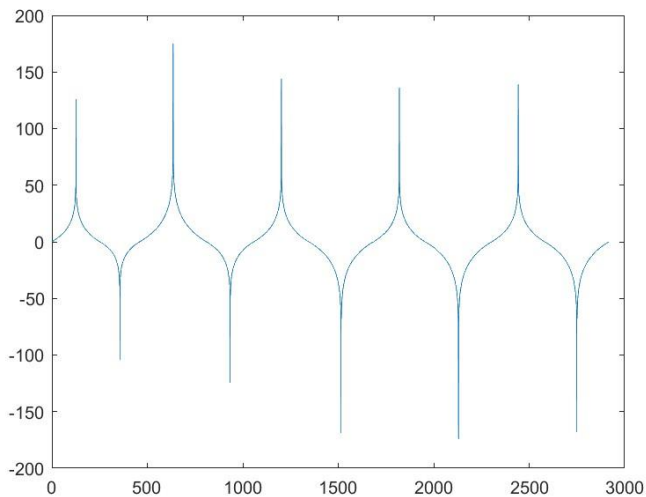


$$\max\{|j(t_0) - j(t_0 \pm h)|\} = h^\alpha \quad h \rightarrow 0$$

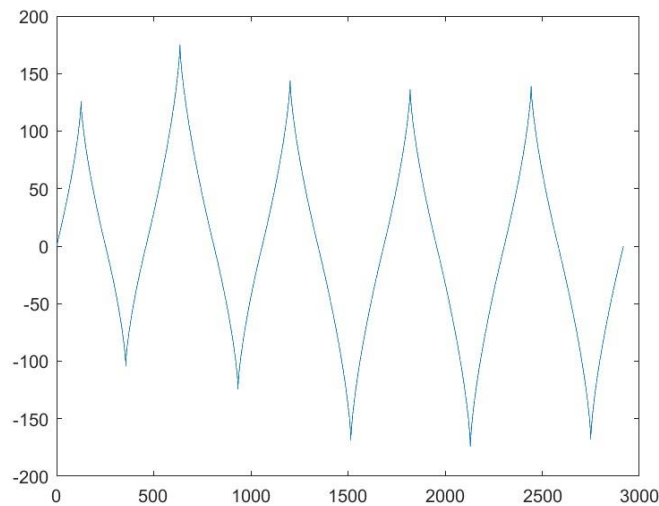
A jel „csúcsossága”

jelek különböző α Hölder kitevőjű szingularitásokkal (szintetizált jelek)

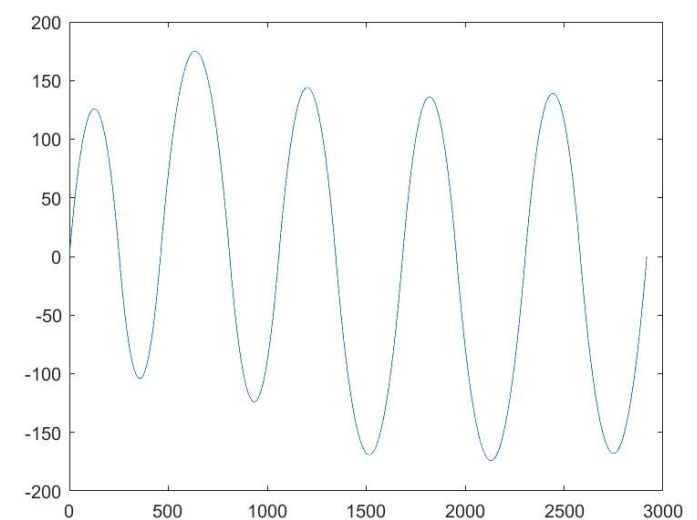
alfa = 0.1



alfa = 0.7



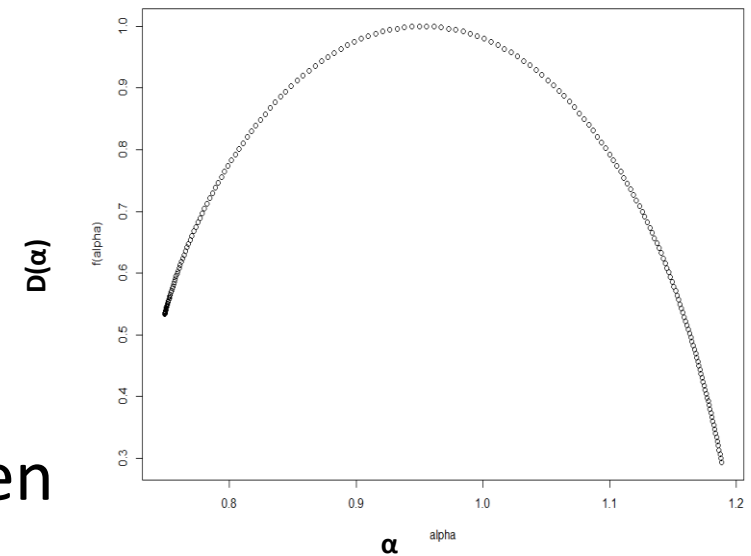
alfa = 2.0



Vonalszerű fraktálok

- a vonalszerű fraktálok vizsgálatának célja a jelben előforduló „csúcsosság”-ok mértékének és gyakoriságának meghatározása
- A szingularitások gyakoriságát jellemzi az, hogy mennyire „töltik ki” a rendelkezésre álló időszakot, ez **a fraktál dimenziója**.

a multifraktálok jellemző diagramja a
szingularitás-spektrum
dimenzió az α csúcsossági szám függvényében



A gyorsulások szingularitásainak jellemzése

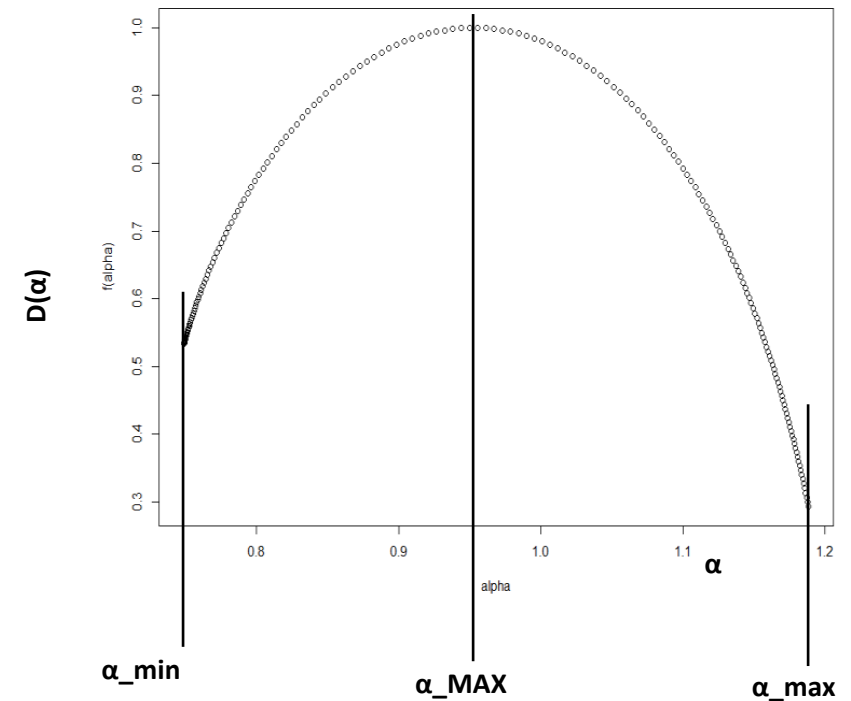
- Javasolt adatok a **szingularitás-spektrum** diagramja alapján:

$\alpha_{\min}$ a legkisebb Hölder kitevő
(a legnagyobb csúcsosság)

$\alpha_{\max}$ a legnagyobb Hölder kitevő
(a legkisebb csúcsosság)

$(\alpha_{\max} - \alpha_{\min})$ a spektrum szélessége

α_{MAX} a legnagyobb dimenziójú
csúcsosság értéke



Mérőszám a gépkocsi rezgésének kényelmességére

A javasolt **K kényelmességi szám** meghatározható a gyorsulási diagramok adataiból:

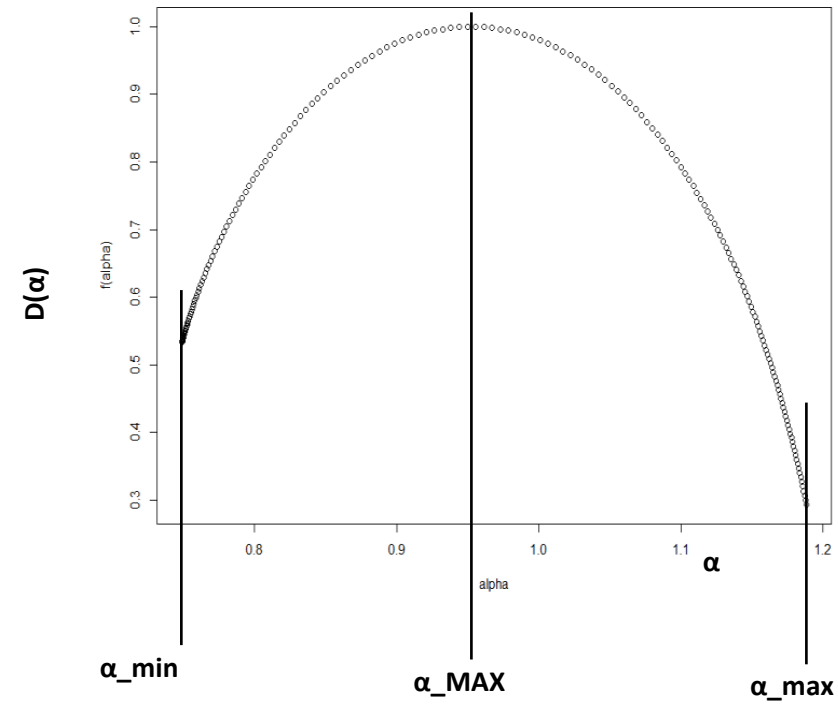
- **K** növekszik **α_{MAX}** értékének növekedésével (a leggyakoribb változási „élesség” mennyire „tompá”)
- **K** csökken az alfa terjedelmének (**$\alpha_{max} - \alpha_{min}$**) növekedésével (sokféle élességű gyorsulás)

$$K = \frac{\alpha_{MAX} * \dots}{(\alpha_{max} - \alpha_{min}) * \dots}$$

Mérőszám a gépkocsi rezgésének kényelmességére

A kényelmesség megnő az $\alpha_{\min}$ növekedésével
(a legélesebb változás mennyire „tompá”)

$$K = \frac{\alpha_{\text{MAX}} * \alpha_{\min}}{(\alpha_{\text{max}} - \alpha_{\min}) * \dots}$$



A gyorsulások nagyságának jellemzése

Javasolt adatok a gyorsulások

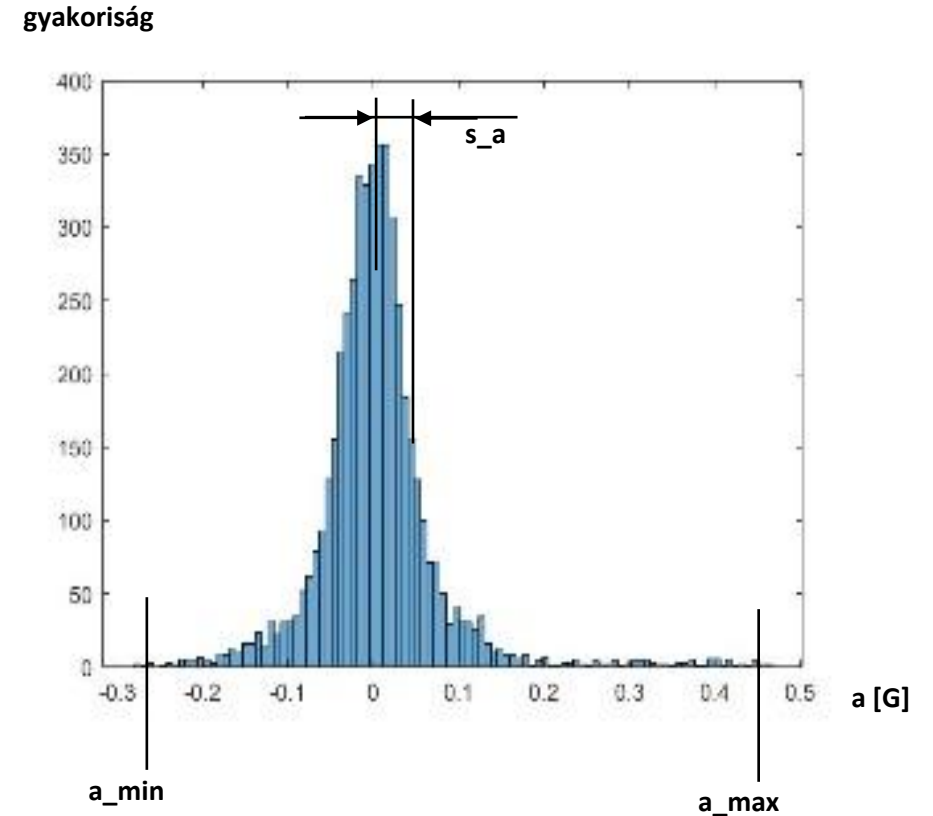
amplitúdó-sűrűség függvénye alapján:

a_min a legkisebb (negatív értékű)
gyorsulás

a_max a legnagyobb (pozitív értékű)
gyorsulás

(a_max- a_min) a gyorsulások
tartományának szélessége

s_a a gyorsulások szórása

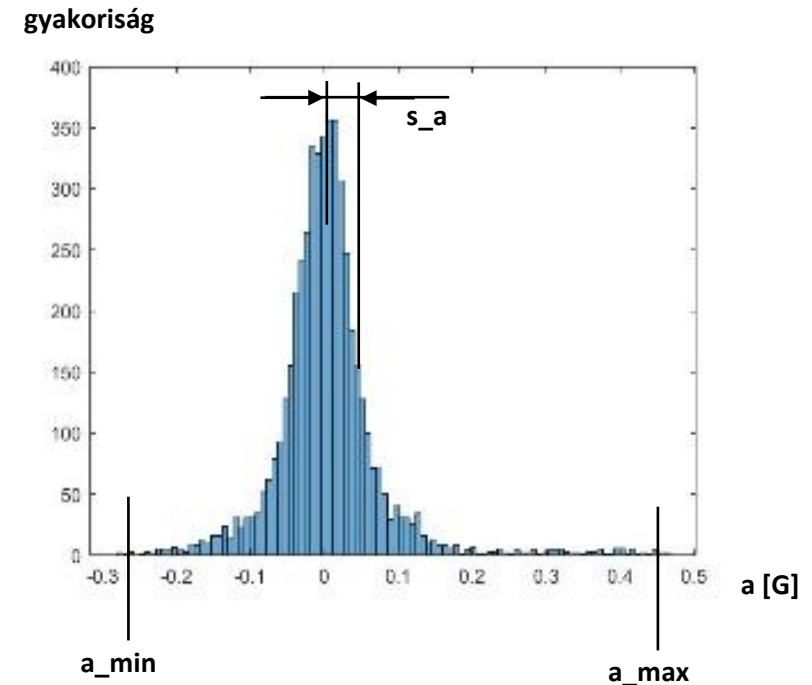


Mérőszám a gépkocsi rezgésének kényelmességére

A kényelmesség csökken a gyorsulások terjedelmének **(a_max- a_min)** növekedésével (sokféle gyorsulás-érték előfordulása)

K csökken a gyorsulások szórásának **s_a** növekedésével
(a leggyakoribb gyorsulás-értékek terjedelme)

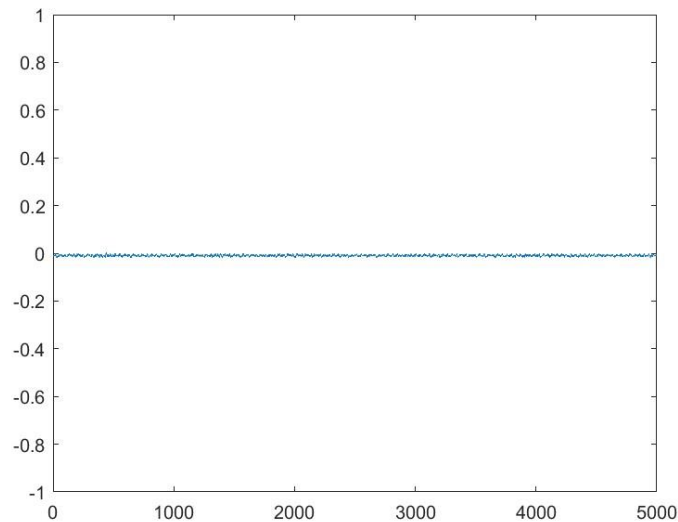
$$K = \frac{\alpha_{MAX} * \alpha_{min}}{(\alpha_{max} - \alpha_{min}) * (a_{max} - a_{min}) * s_a}$$



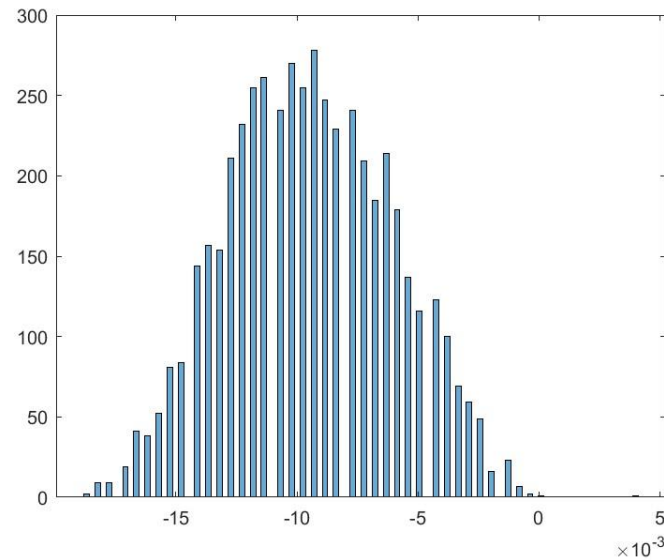
Példák a kényelmességi mérőszám értékére

- hibátlan aszfaltos út, jobbra-balra irányú gyorsulás: $K=632$

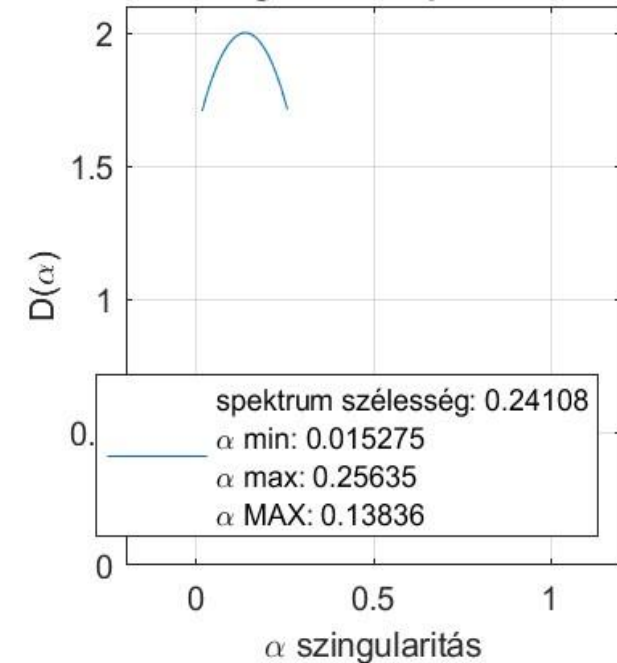
időfüggvény



amplitúdó-sűrűség függvény



szingularitás spektrum

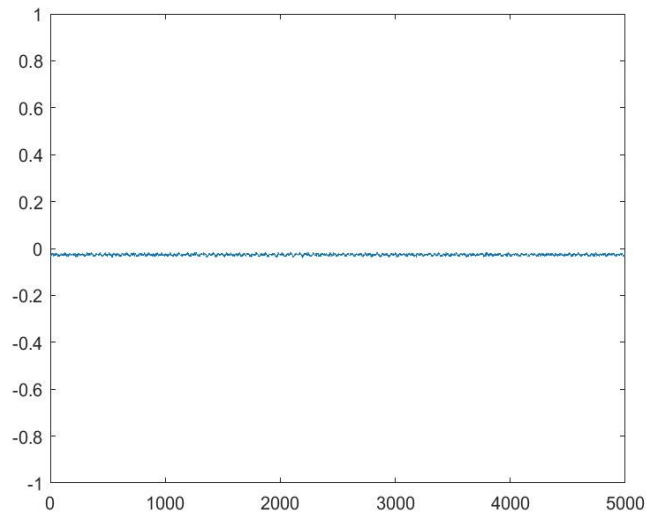


Példák a kényelmességi mérőszám értékére

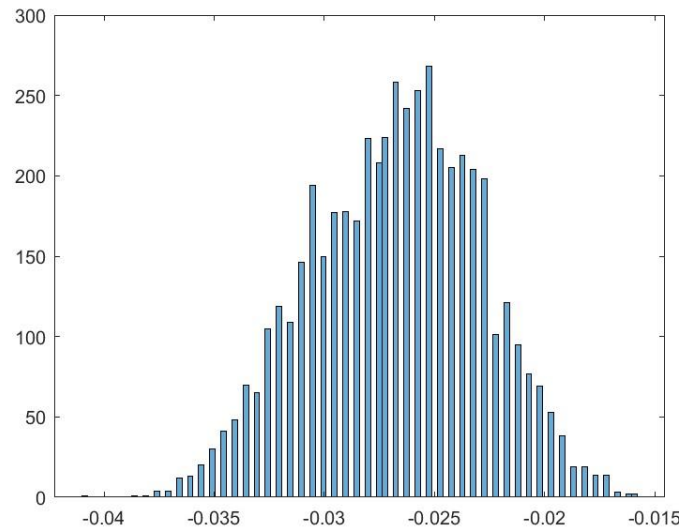
- hibátlan aszfaltos út, fel-le irányú gyorsulás:

K=711

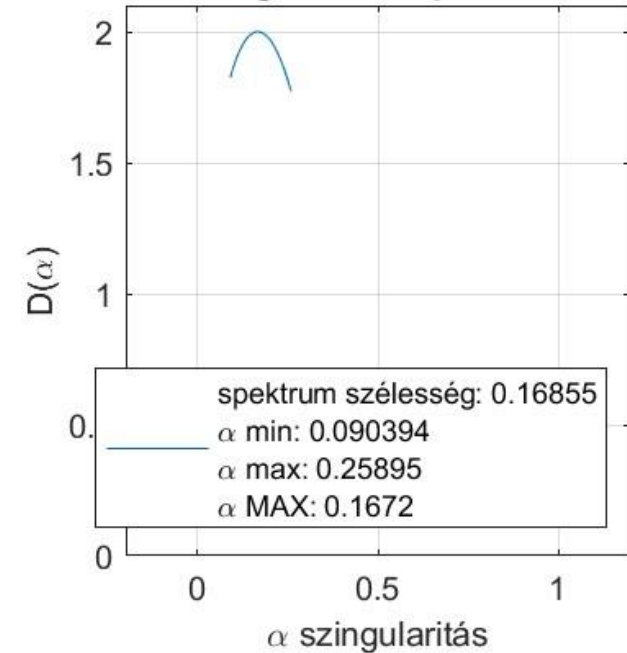
időfüggvény



amplitúdó-sűrűség függvény



szingularitás spektrum

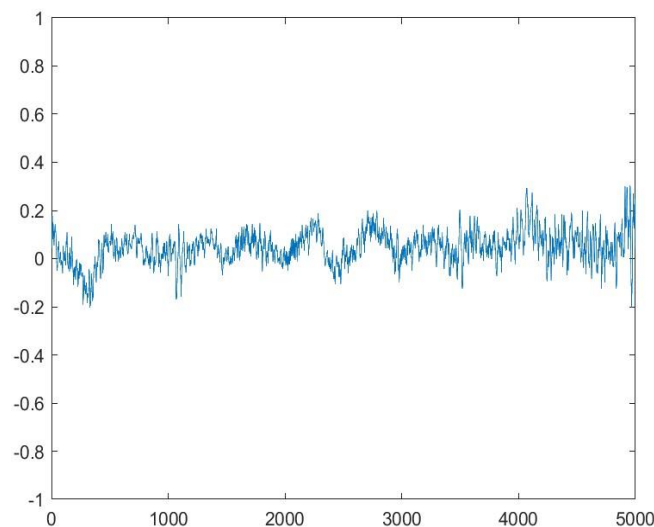


Példák a kényelmességi mérőszám értékére

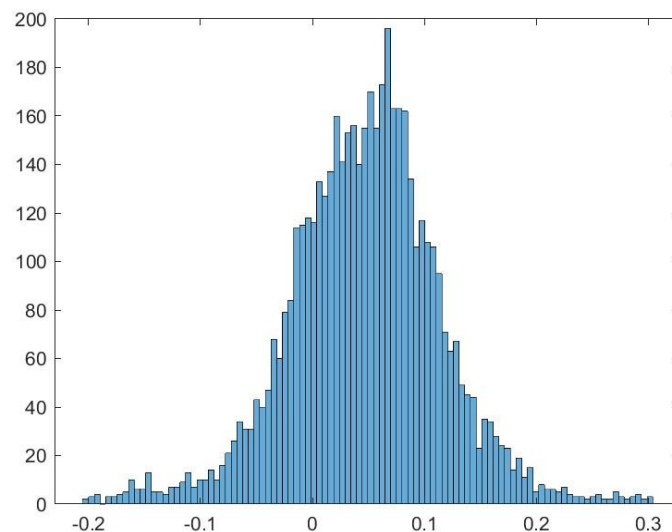
- kátyú, jobbra-balra irányú gyorsulás:

$K=0,24$

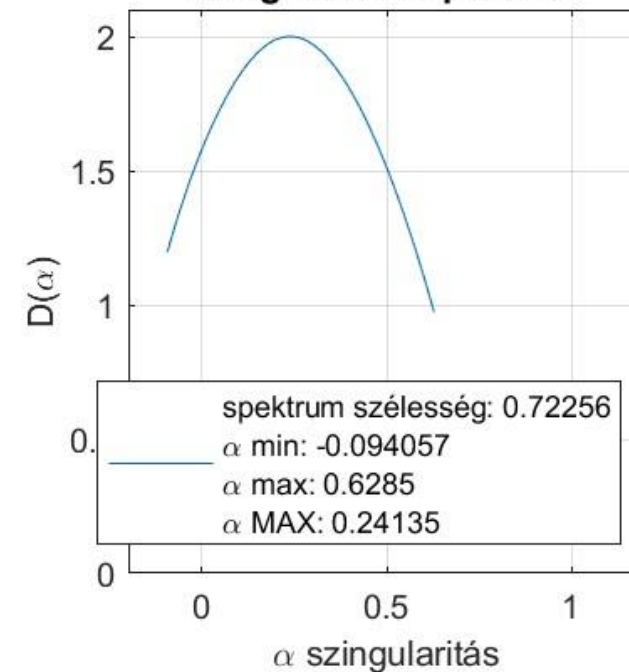
időfüggvény



amplitúdó-sűrűség függvény



szingularitás spektrum

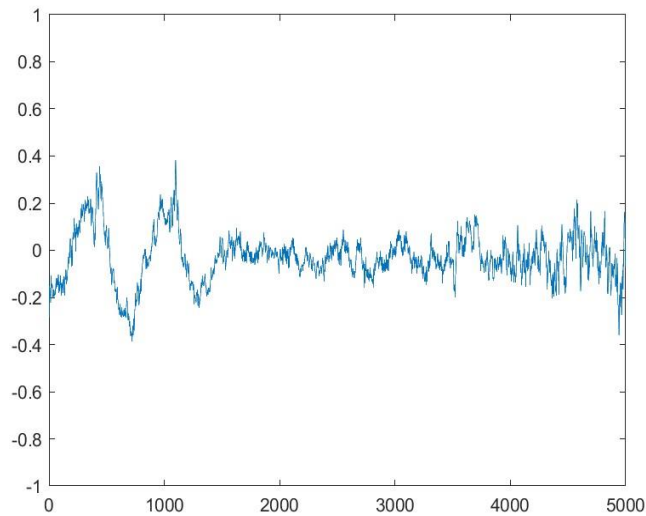


Példák a kényelmességi mérőszám értékére

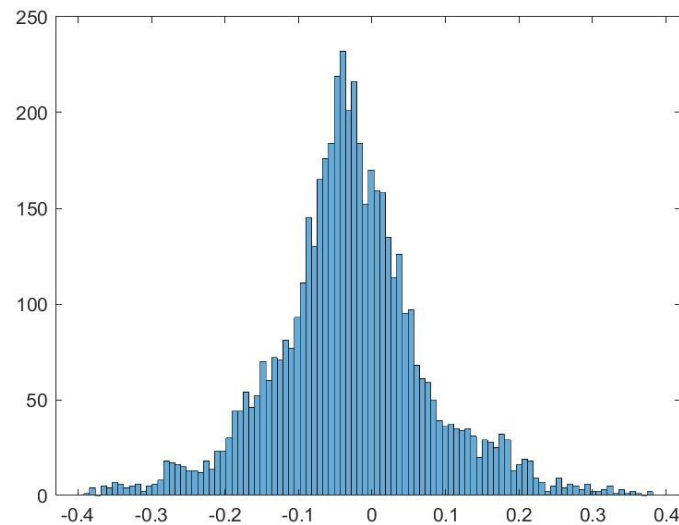
- kátyú, fel-le irányú gyorsulás:

$K=1,09$

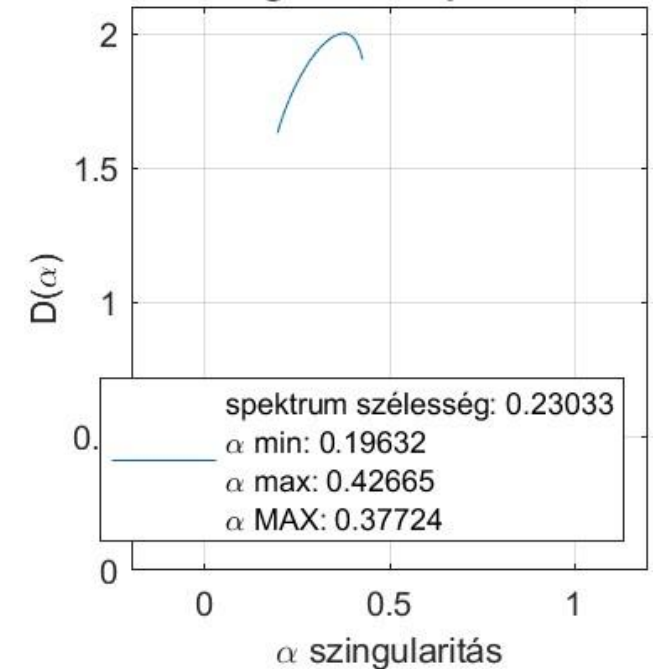
időfüggvény



amplitúdó-sűrűség függvény



szingularitás spektrum

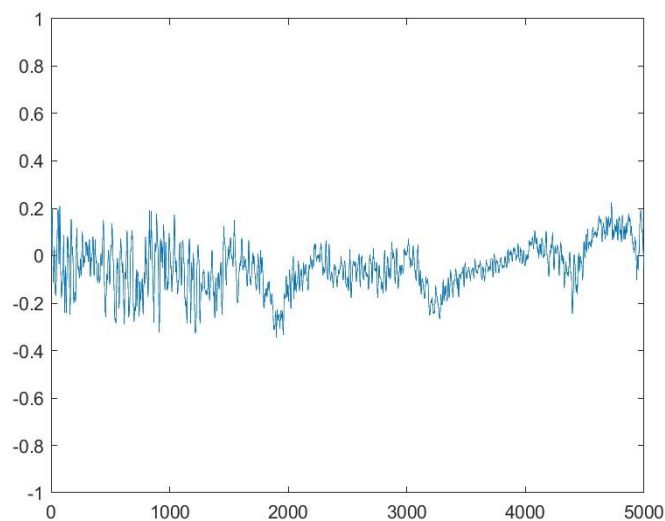


Példák a kényelmességi mérőszám értékére

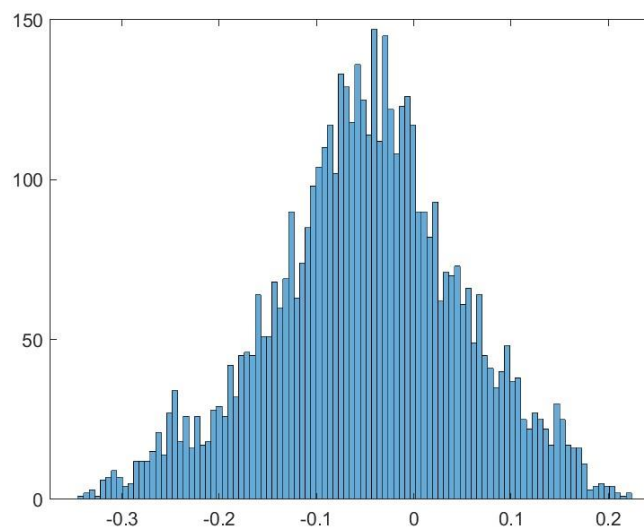
- kátyú, jobbra-balra irányú gyorsulás:

$K=0,58$

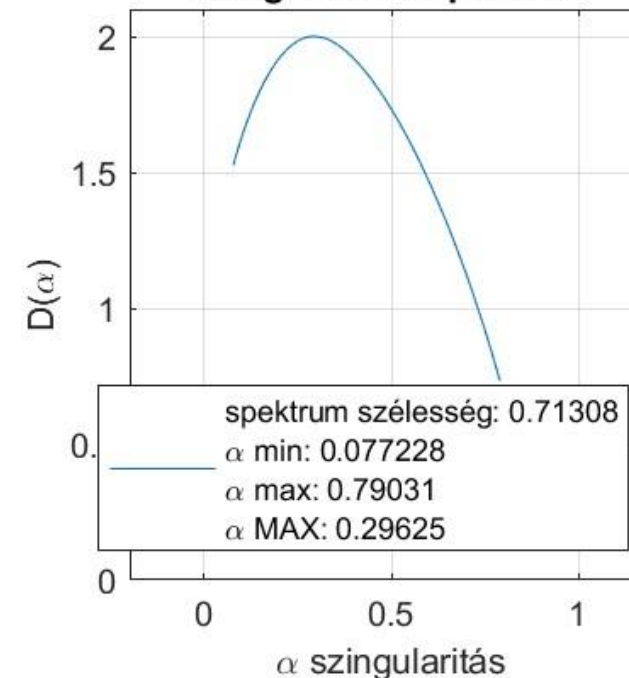
időfüggvény



amplitúdó-sűrűség függvény



szingularitás spektrum

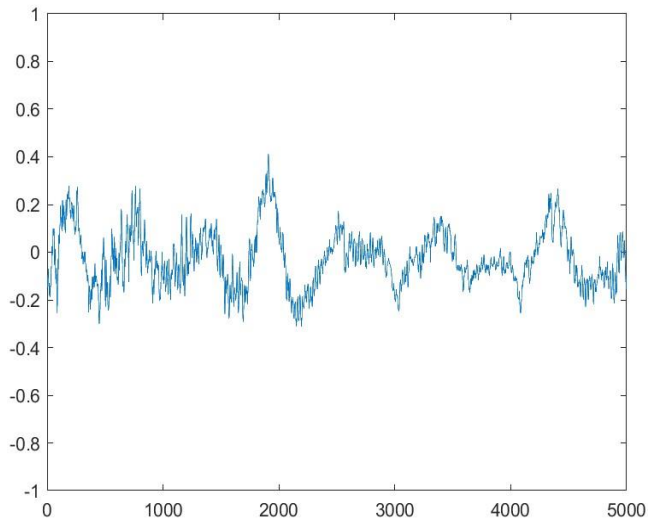


Példák a kényelmességi mérőszám értékére

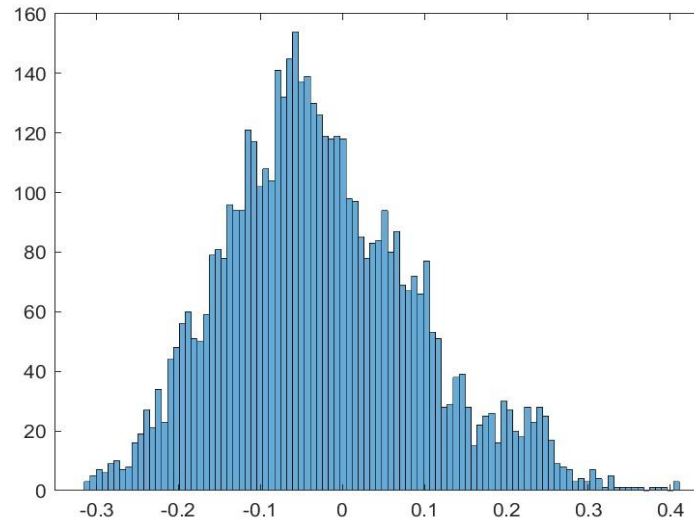
- kátyú, fel-le irányú gyorsulás:

$K=0,79$

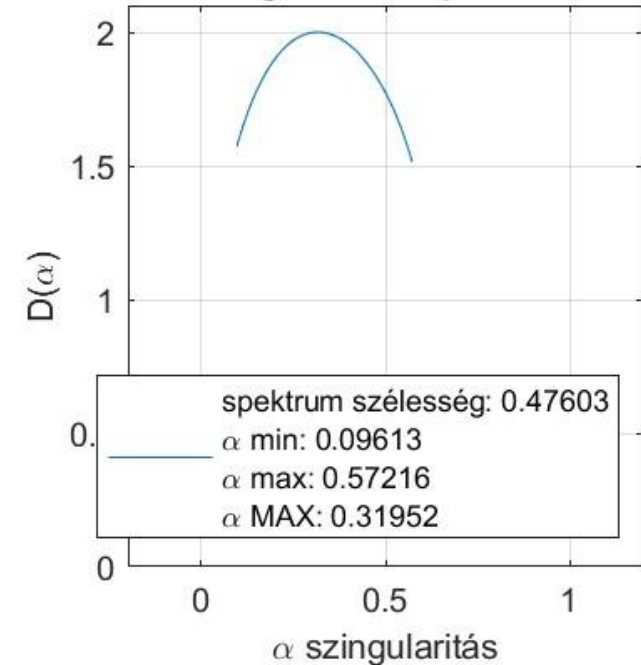
időfüggvény



amplitúdó-sűrűség függvény



szingularitás spektrum



További vizsgálati feladatok

- a rezgési lánc elmeinek **mechanikai** tulajdonságai, kapcsolatuk, rezonanciák
A lengéscsillapító nemlineáris elem!
- a rezgés mértékének ill. jellegének változása a jármű **haladási sebessége** függvényében

További vizsgálati feladatok

- az emberi szervezet rezgési érzékenysége
a gyorsulás **irány**ának és **élesség**ének függvényében
(3 irányú gyorsulásmérés + 3 csatornás adatgyűjtő készülék, szubjektív
értékelés kialakítása)
- a **K** kényelmességi **mérőszám képlete helyesség**ének kísérleti
ellenőrzése, finomítása

Köszönöm a
megtisztelő figyelmet!