



Fürjes Andor Tamás

Digitális jelfeldolgozás

Rádiós napok – 2001. nov. 7-8.

Tartalom

- Digitalizálás és gyakorlati következményei
- Jelfeldolgozási alapok
- Digitális jelátvitel



Digitálizálás és következményei – a digitalizálás lépései

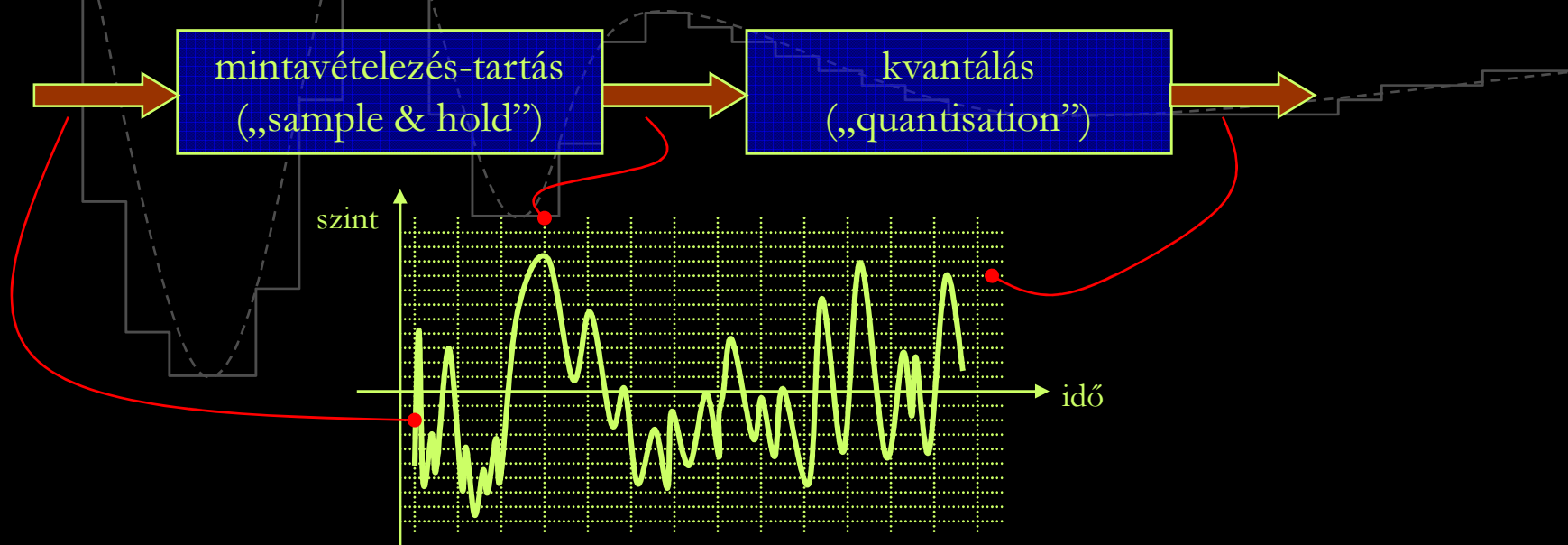
— Analóg – a hangnyomással azonos elektromos jel

— Digitalizálás – „számokkal való leírás”

- melyik pillanato(ka)t ábrázoljuk számmal?
- milyen pontossággal ábrázoljunk?
- milyen számábrázolást használjunk?

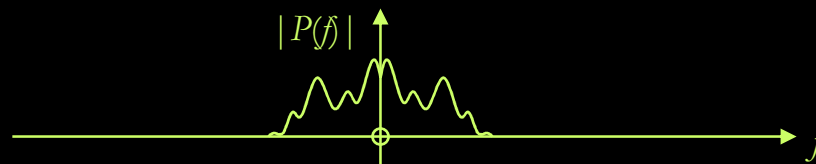
- mintavételezés („sampling”)
- kvantálás („quantising”)
- kódolás

— A digitalizálás lépései

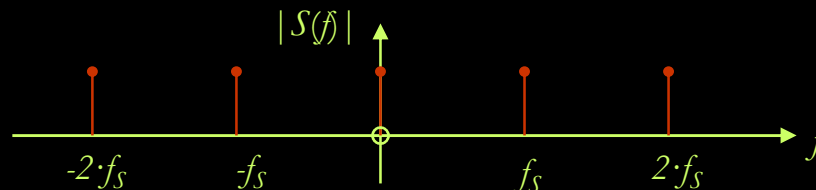
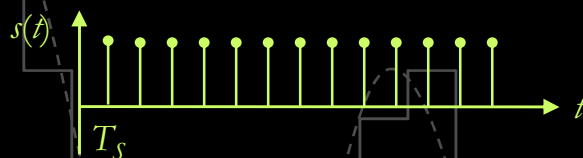


Digitalizálás és következményei - mintavételezés

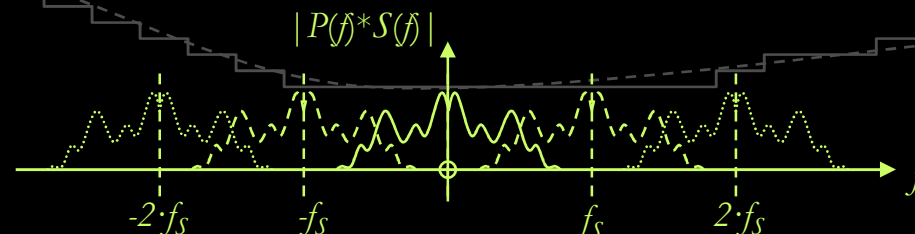
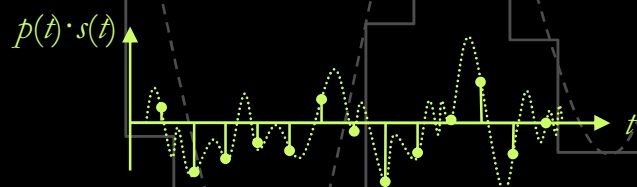
Az eredeti jel



A mintavételező jel ($f_s = 1/T_s$)



A mintavételezett jel



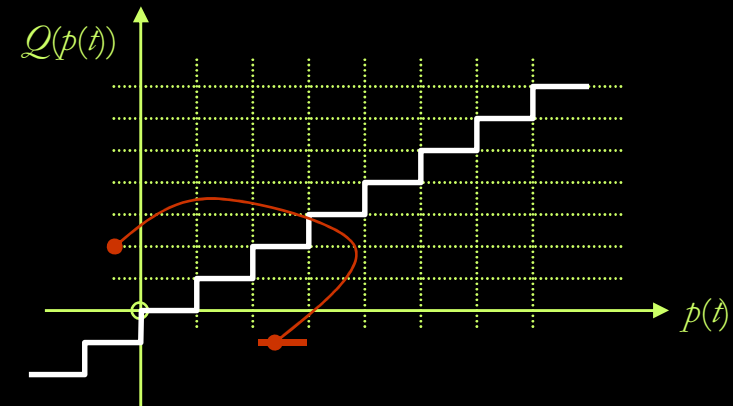
Következmények: csak az $f_s/2$ -ig terjedő alapsáv ábrázolható/kezelhető

- sávkorlátozásra van szükség a mintavételezés előtt és visszaalakításnál
- az alapsávból kivezető processzálás átlapolódáshoz vezet
- túlmintavételezéssel („oversampling”) igeiglenesen lehet kezelni a problémákat

Digitalizálás és következményei - kvantálás

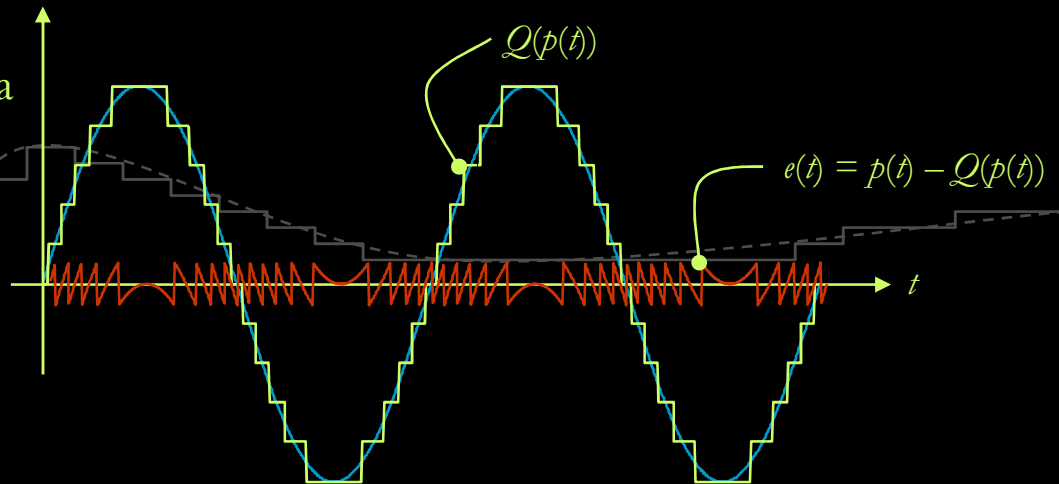
A kvantálás: az ábrázolás véges pontossága

- a kvantálás egy nemlineáris átmenet
- egyenletes/logaritmikus kvantálás
- kvantálási lépcső: q



A kvantálási hiba: torzítás

- $-q/2 \leq e(t) \leq +q/2$
- minél kisebb q , annál kisebb a hiba
- torzítás, ezért kellemetlen




A kvantálási torzítás vagy „zaj” mértéke

A kvantálási hiba energiája $q^2/12$, ami zajként modellezve egyenletesen oszlik el az alapsávban.

Digitalizálás és következményei – kvantálás II.

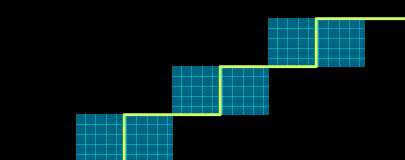
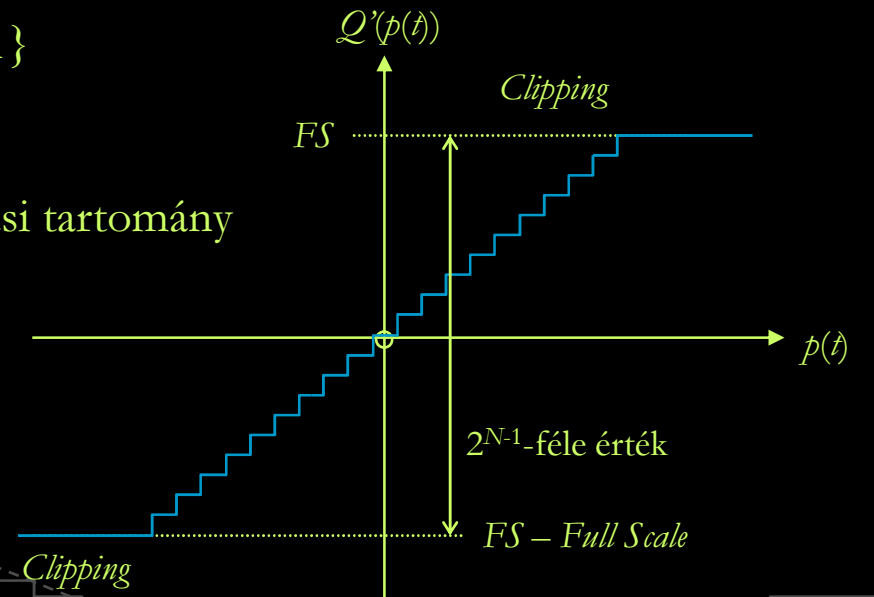
 A kvantálás utáni kódolás: az értékek ábrázolása

- „értelemszerűen” kettes számrendszer: $\{0, 1\}$
- N -bittel 2^{N-1} -féle amplitúdó írható le
- a kvantálási lépcső (q) 1 bitnek felel meg
- adott szóhossz (N bit): korlátozott kvantálási tartomány

 Jel/zaj viszony egyszerűen
 $SNR \sim 6 \cdot N$ [dB]

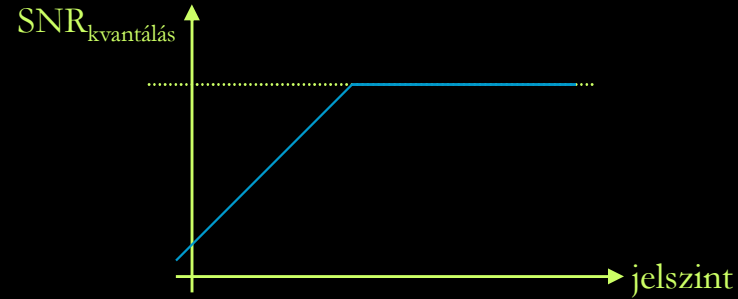
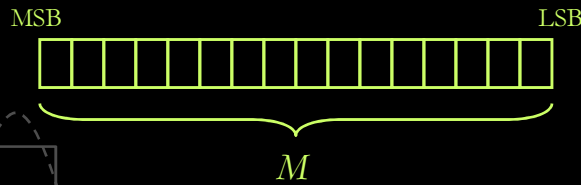
 A kvantálás és kódolás következményei

- a kvantálás zajjal közelíthető, de nemlineáris torzítás
- a pillanatnyi jel/zaj viszony annál jobb, minél nagyobb a kivezérlés
- kis amplitúdókon nagy relatív torzítás: „dither”
- nagyobb mintavételi frekvencia: adott sávban kisebb kvantálási hiba energia
- túlmintavételezés és hibajel-formázás: „noise shaping”

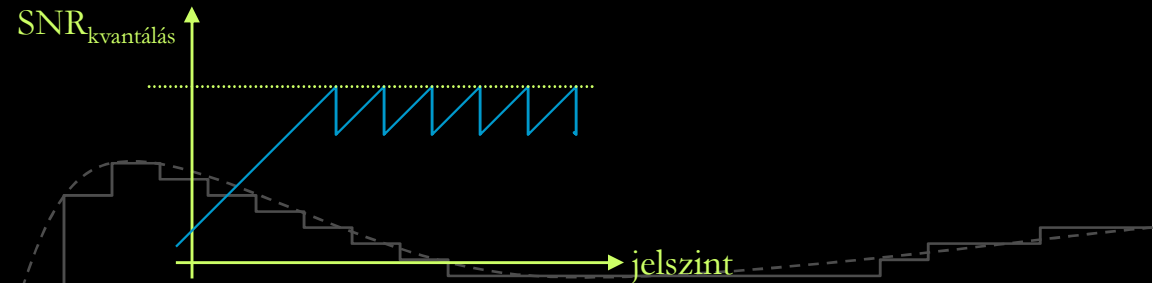
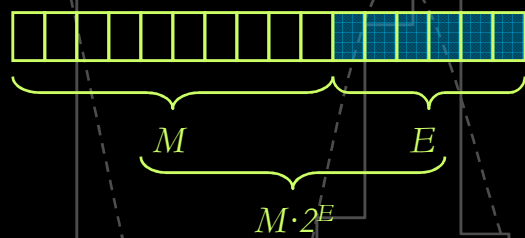


Digitálizálás és következményei - jelábrázolás

Fixpontos jelábrázolás

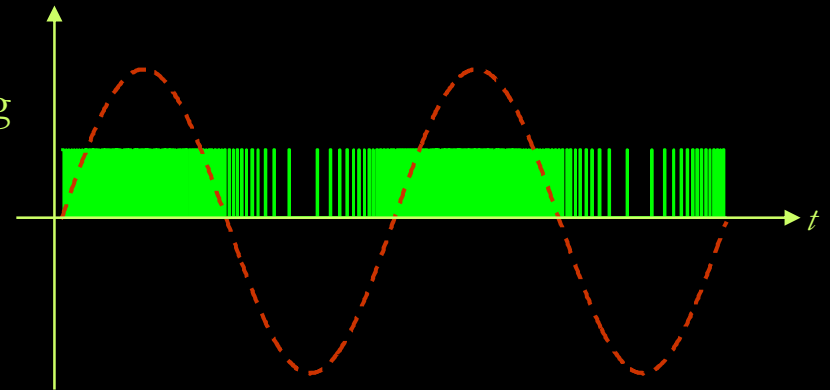


Lebegőpontos jelábrázolás



1-bites jelábrázolás

- a pillanatnyi szintnek a pulzussűrűség felel meg
- „delta-szigma”: különbségképzés-összegzés



Jelfeldolgozás – szűrés

A digitális jelfeldolgozás elemei

- késleltetés (T_s többszöröse)
- összeadás (kivonás)
- szorzás (osztás)

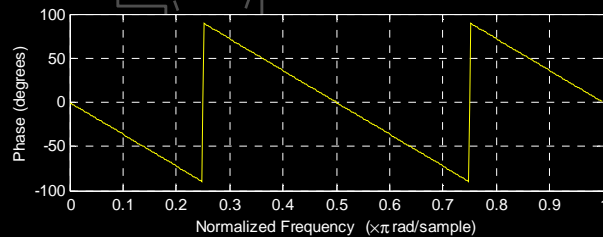
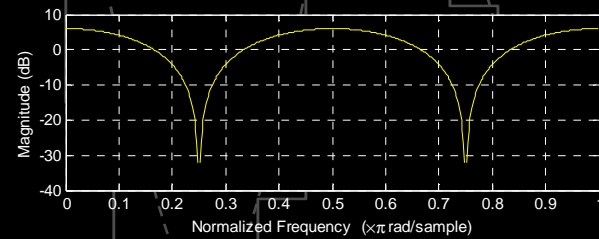
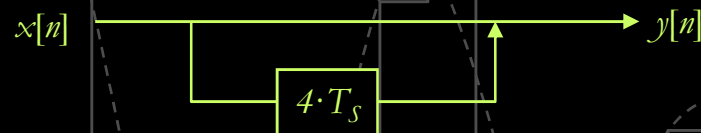
$$y[n] = x[n-m]$$

$$y[n] = x_1[n] + x_2[n]$$

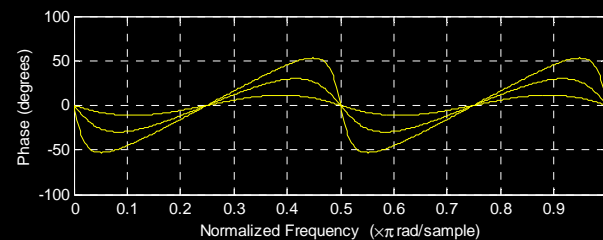
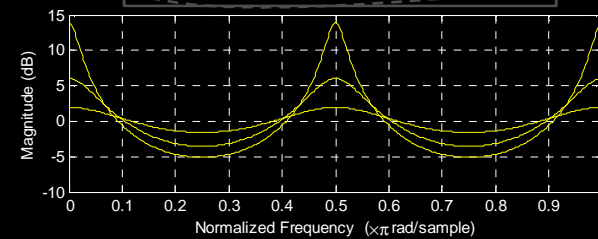
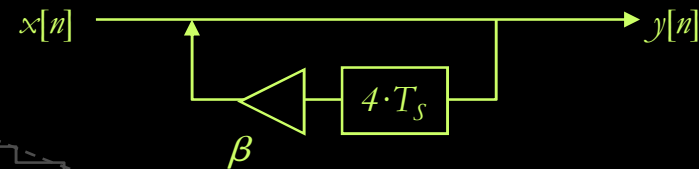
$$y[n] = x_1[n] \cdot x_2[n]$$

Normalizált frekvencia: $\Omega = 2 \cdot f / f_s$

Előrecsatolt késleltető



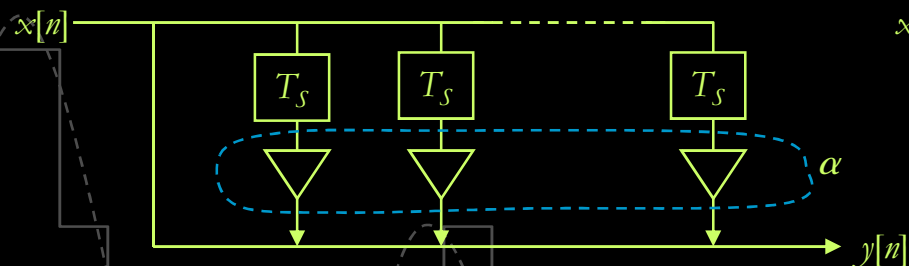
Visszacsatolt késleltető



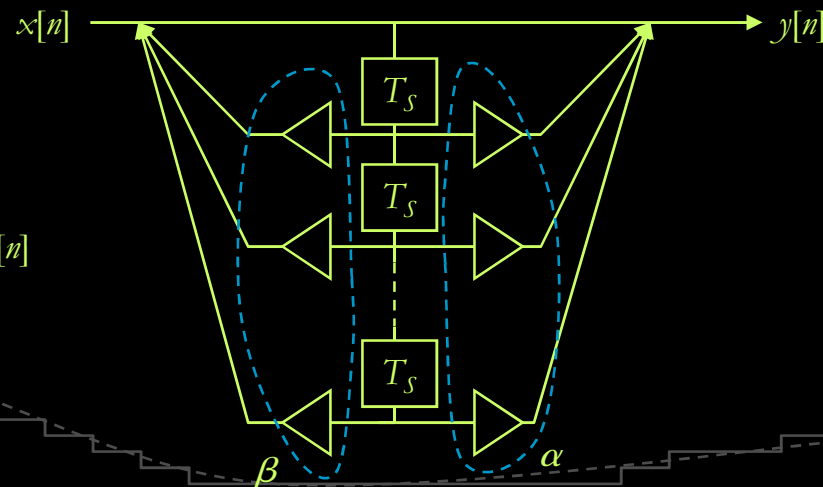
Jelfeldolgozás – szűrés II.

Digitális szűrők

csak előrecsatolás – véges impulzusválasz (**FIR**)



visszacatolás is – végtelen impulzusválasz (**IIR**)



Következmények

- mintavételezés: a frekvencia-karakterisztikák is ismétlődnek
- kvantálás: minden tárolásnál (pl. késleltetés) és szorzásnál kvantálási hiba
- túlvezérlődés: összeadóknál, szorzóknál

Általában

- tetszőleges pontosság érhető el az amplitúdó- és fázis-karakterisztikákban egyaránt
- minden analóg karakterisztikának pontosan megfeleltethető egy digitális szűrő
- dinamikus szűrés: a paraméterváltás a visszacsatolások és a kvantálás miatt probléma

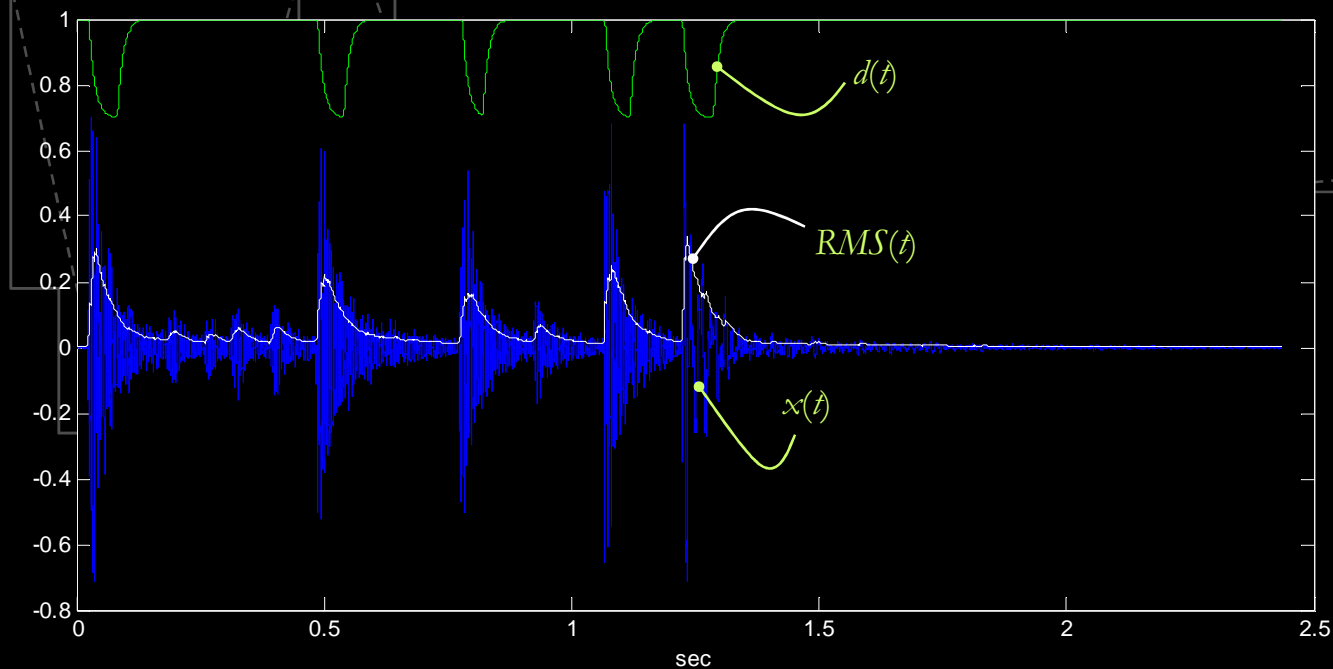
Jelfeldolgozás – modulációk, összetett jelfeldolgozás

 Modulációk

- amplitúdó
- frekvencia
- egyéb...

 Dinamikaprocesszálás – amplitúdó moduláció:

$$y(t) = d(t) \cdot x(t)$$



 Amplitúdó-moduláció: nemlineáris művelet Nemlineáris műveletek

- új spektrum-komponensek az eredményben
- az alapsávon kívül eső új komponensek visszalapolódnak (mintavételezés!)

Jelfeldolgozás – digitális kontra analóg

 Digitális jelfeldolgozás problémák:

- sávkorlátozottság (mintavételezés),
- különleges torzítási termékek (kvantálás, clipping, aliasing),
- különleges eljárások (jelfeldolgozás, dinamikus vezérlés, stb.)

 Digitális jelfeldolgozás előnyök:

- hardver és szoftver elkülönülése (ugyanaz a hardver sokféle feladatot láthat el)
- a hangminőséget a konverterek határozzák meg
- tetszőlegesen elérhető pontosság a processzáásban (nincs bizonytalanság)
- gyakorlatilag veszteségmentes adattárolás
- reprodukálható
- automatizálható, távvezérelhető – a vezérlés teljesen független tud lenni

Jelfeldolgozás – tömörítések

 Tömörítő eljárások

- veszteségmentes/veszteséges módszerek
- a veszteséges módszerek feltételezik az ideális hangláncot (szubjektív vizsgálatok).

 Szempontok

- állandó/szabályozható/változó adatsebesség
- kódolás-dekódolás számának hallhatósága

 Érzékenység a jelfeldolgozással szemben

A feltételezett hangszín- és dinamikaarányok felborulnak, a tömörítések hiányosságai hallhatóvá válnak.

Digitális rendszerek – jelátvitel

 Digitális jelátvitel – adatátvitel

- kétsatornás formátumok (AES/EBU, S/P DIF),
- sokcsatornás formátumok (MADI, ADAT, TDIF, Lightwinder, stb.)
- adat-formátumok (SCSI, FireWire, ATM, ISDN, stb.)

 Digitális jelátvitel – feladatok

- zavarvédelem (hibajavító/védő- és csatornakódolás)
- bit/szó/blokk szinkron biztosítása

 Rendszer-szinkron

- készülékről készülékre csak néhány eszköz esetében elfogadható (Master-Slave),
- nagyobb rendszer központi órajel-generátort igényel (mindenki Slave).
- függetlenítést csak mintavételi frekvencia-konverter biztosíthat.

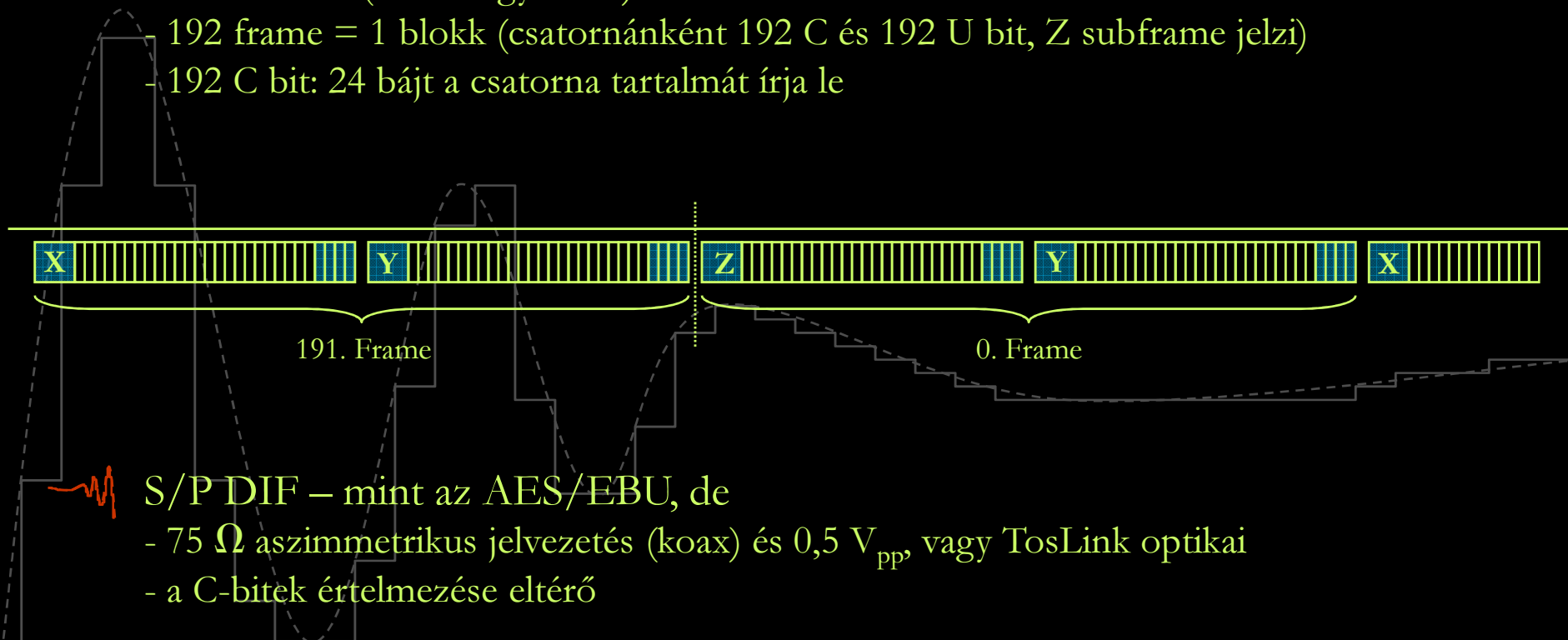
 Jitter – szimbólumszintű szinkronhiba

- professzionális eszközökben kettős PLL órajel-regenerálás
- központi órajel generátor

Digitális rendszerek – jelátvitel II.

 AES/EBU

- RS-422 alapú, 110 Ω szimmetrikus jelvezetésű (XLR), 2-7 V_{pp}, aszinkron
- 1 csatorna = 1 subframe (X/Y/Z preamble + 24 adatbit + VUCP bitek),
- 1 frame = 2 (X+Y vagy Z+Y) subframe
- 192 frame = 1 blokk (csatornánként 192 C és 192 U bit, Z subframe jelzi)
- 192 C bit: 24 bájt a csatorna tartalmát írja le


 S/P DIF – mint az AES/EBU, de

- 75 Ω aszimmetrikus jelvezetés (koax) és 0,5 V_{pp}, vagy TosLink optikai
- a C-bitek értelmezése eltérő

Jelfeldolgozás a rádiózásban

 Előzmények

- az AM rádióadásban a túlmoduláció elleni védelemnek használtak peak-limitert
- a 60-as évektől működtek igazi processzorok (pl. Audimax I, 1959),
- egészen a 70-es évek végéig nem igazán voltak FM-re szabott processzorok
- a peak-limiter mellett: emfázis, gate és kifinomultabb időállandó-állítás
- 1971 DAP (Discriminate Audio Processor) – háromsávós kompresszor/limiter/clipper
- az FM pilot védelme éles aluláteresztőt kívánt – sztereó generátor integrálása (1975)
- megkezdődött a hangosságverseny – kompozit clipper (1982)
- 80-as évek: többsávós processzorok, exciter,
- Unity 2000i: távvezérlés, digitális és analóg processzálás
- első DSP-alapú processzorok: Audio Animation Paragon, Valley, de az analóg jobban szól,
- 90-es évek közepe: teljesen digitális processzorok

 Digitális jelátvitel a rádiózásban

- milyen mintavételi frekvencia? - mintavételi frekvencia konverterek
- késleltetés (monitorozás...) (max. 5...7 ms)
- stúdió-adó átvitel: lineáris vagy nemlineáris kodek?