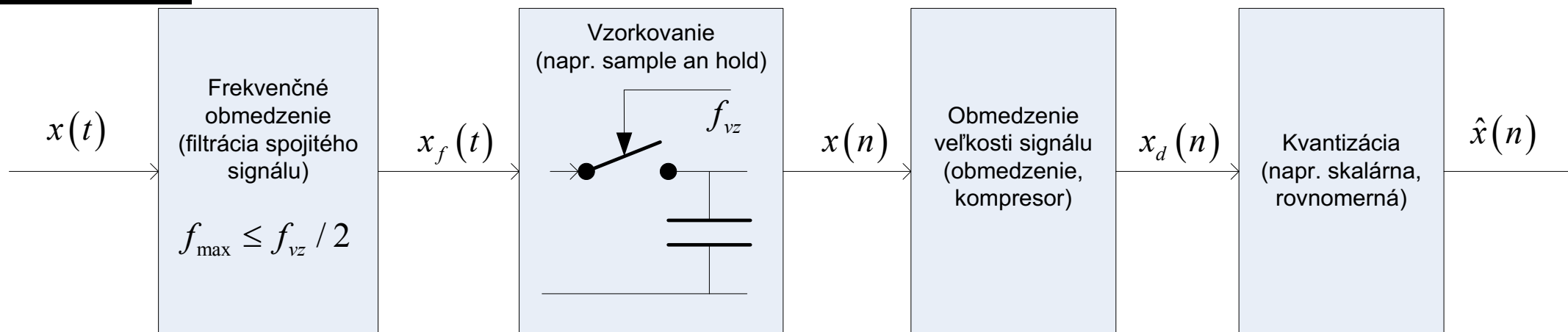
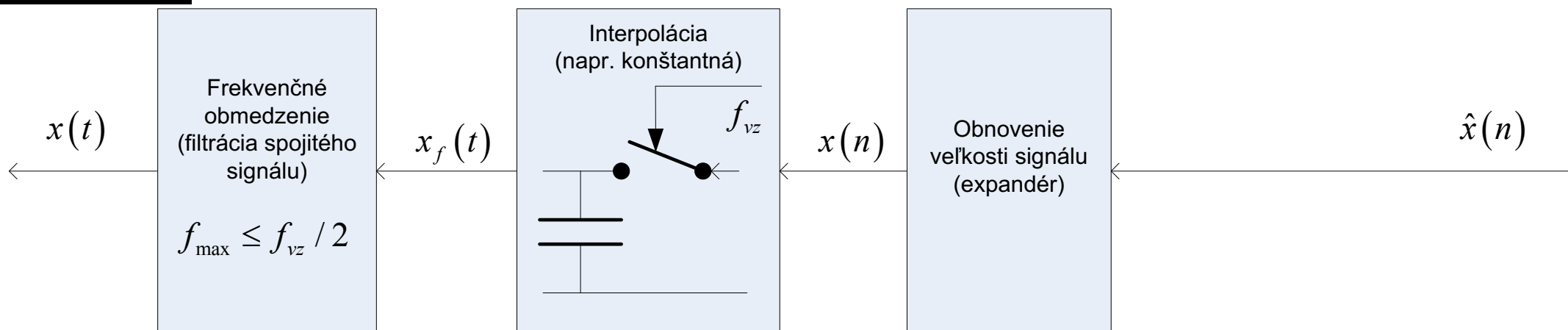


A/D Prevod



D/A Prevod



Vzorkovanie

- ADSS1 (ideálne vzorkovanie, vzorkovanie 1. Druhu, 2.Druhu)

Interpolácia

Interpolácia je opakom vzorkovania: proces konverzie diskkrétnej veličiny $x(n)$ na spojitú veličinu $x(t)$.

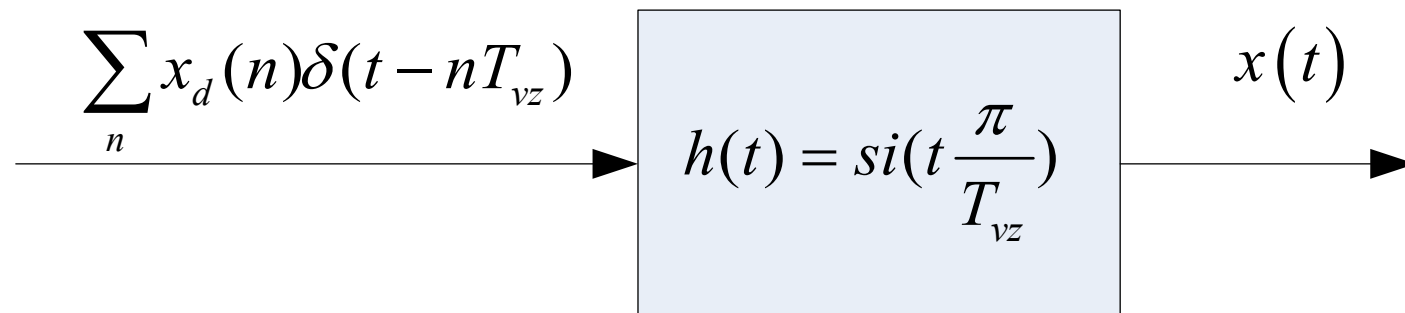
- Kľúčová požiadavka je aby po interpolácii ostali v $x(t)$ nezmenené hodnoty oproti hodnotám vzoriek $x(n)$ v daných časoch. T.j. pri rovnomernom vzorkovaní: $x(t)|_{t=nT_{vz}} = x(n)$
- T.j. interpolácia má čo najvhodnejšie zaplniť medzery medzi vzorkami

Optimálna interpolácia - pomocou si funkcie

$$x(t) = \text{box}(t) * \sum_n x_d(n) \delta(t - nT_{vz})$$

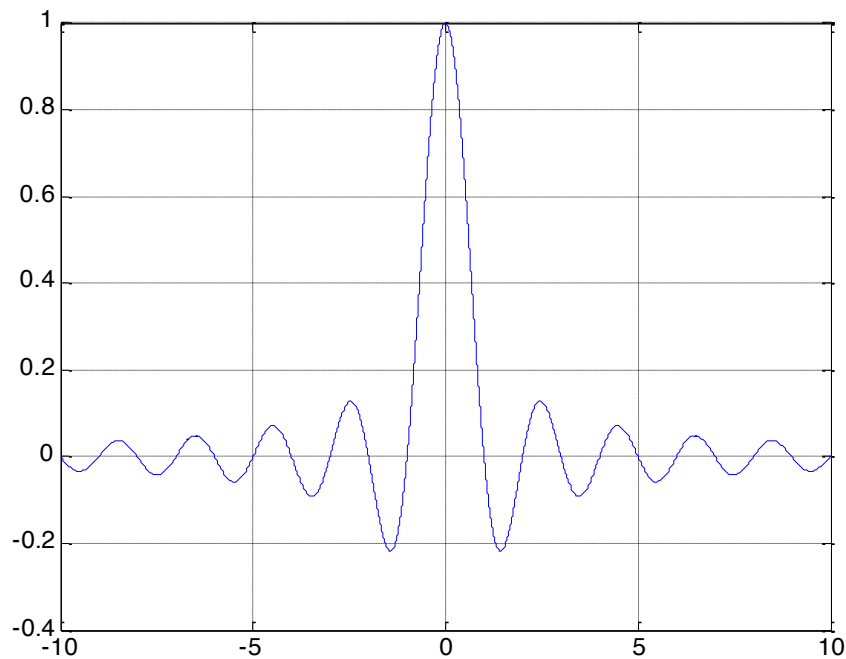
, kde $\text{box}(t) = \text{si}\left(t \frac{\pi}{T_{vz}}\right)$

Čo môžeme zakresliť ako spojitú sústavu:

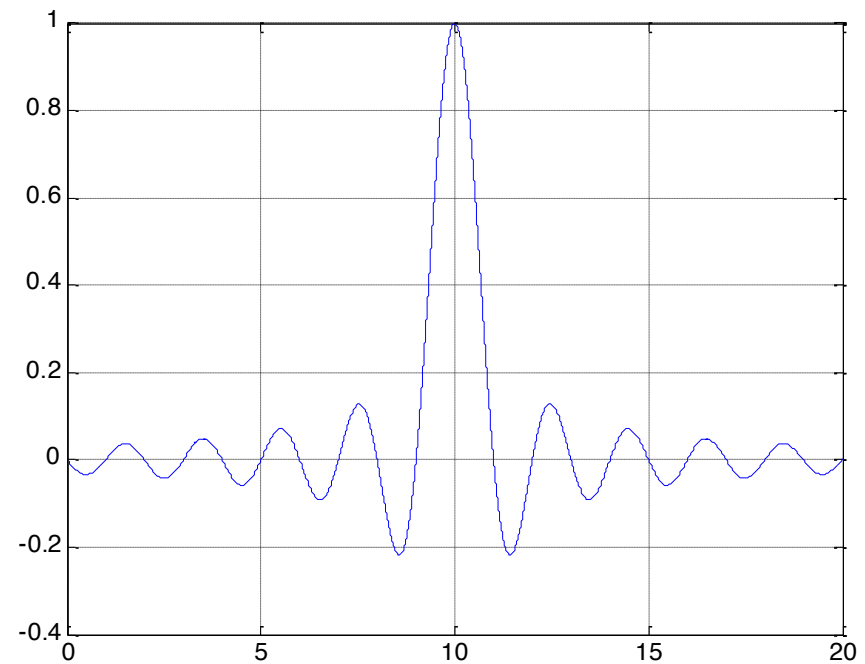


Táto sústava však nie je LSKÍ – nie je kauzálna, t.j. v reálnom čase nerealizovateľná. Má ideálne, nulové oneskorenie.

- Keď $T_{vz} = 1$, vidíme priebeh $h(t)$ vľavo. Zobrazený interval $(-10, 10)$ sekúnd. $h(t)$ má však nosič (nenulové hodnoty) na intervale $(-\infty, \infty)$
- Ako vyrobiť reálne použiteľné riešenie?
 - $h(t)$ v čase ohraničiť (frekvenčná charakteristika procesu už nebude ideálna) =>SKRESLENIE
 - $h(t)$ v čase posunúť (výstup sústavy bude oneskorený o toto posunutie) =>ONESKORENIE



$h(t)$, nekauzálna sústava, oneskorenie 0s

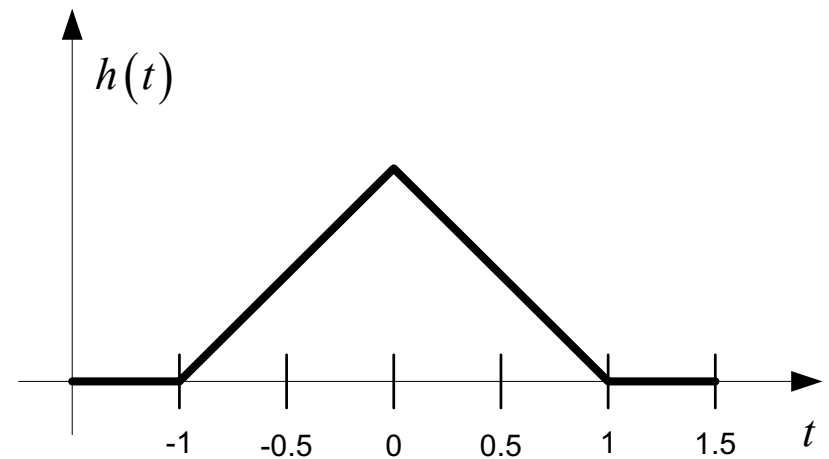
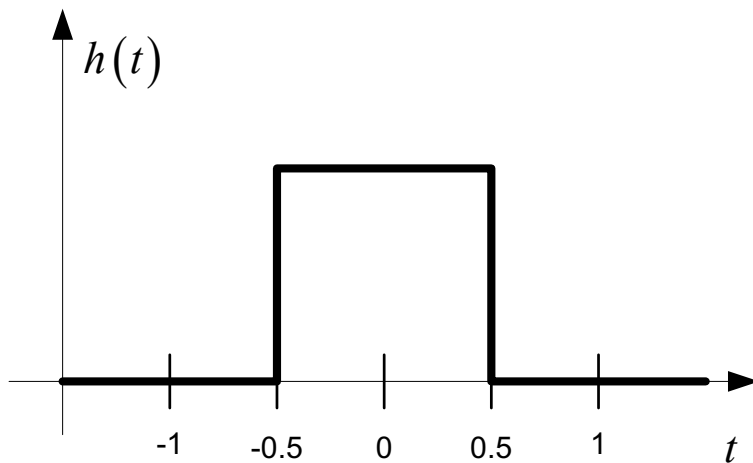


$h(t)$, LSKl, oneskorenie 10s

V praxi sa používajú aj najmä iné spôsoby interpolácie (nasleduje analógová firtrácia, tak si to môžeme dovoliť):

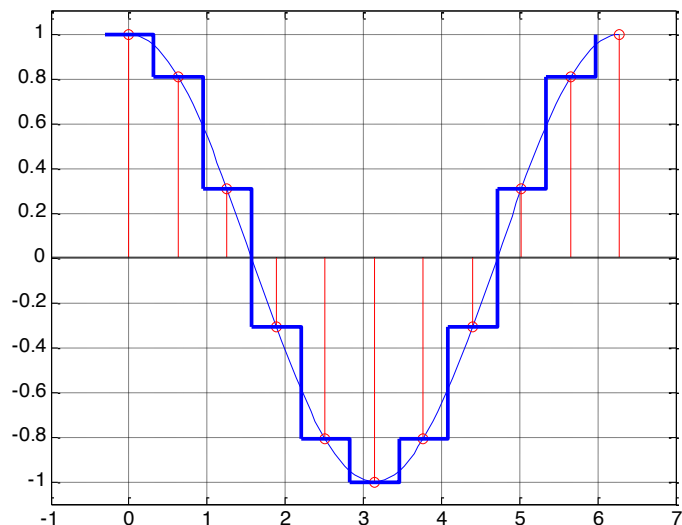
- Konštantná (vytvára nespojitý signál)
- Lineárna (vytvára signál nespojitý v prvej derivácii)
- Po častiach polynomicke (napr. pomocou kubických splajnov)
- Polynomicke
- Niektoré sú realizovateľné LSKÍ systémami

Napr: pre konštantnú a lineárnu interpoláciu pri $T_{vz} = 1$ vyzerajú $h(t)$ ako je na nižšie uvedených obrázkoch.

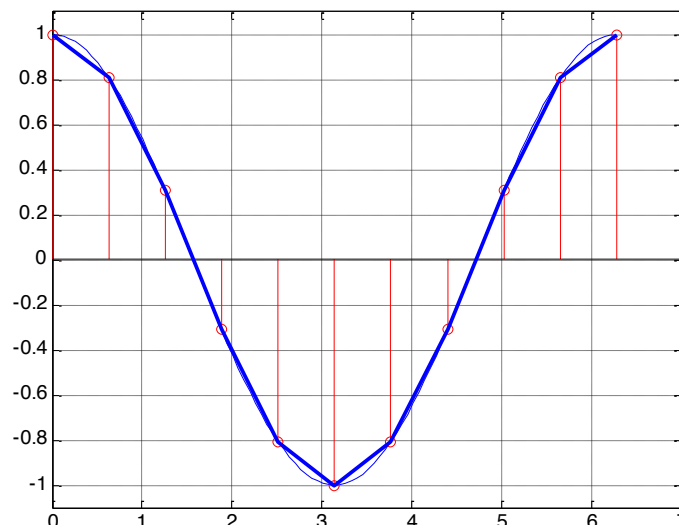


Odpovedajúce systémy budú nekauzálne a s nulovým oneskorením. Ak $h(t)$ oneskoríme, systémy budú LSKÍ s príslušným oneskorením.

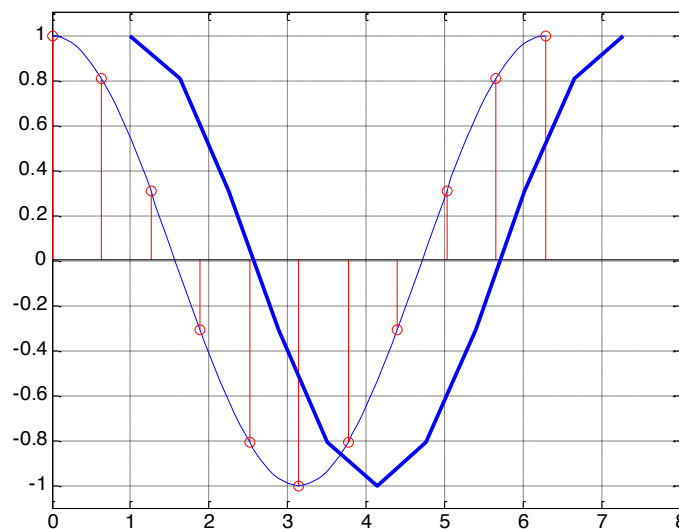
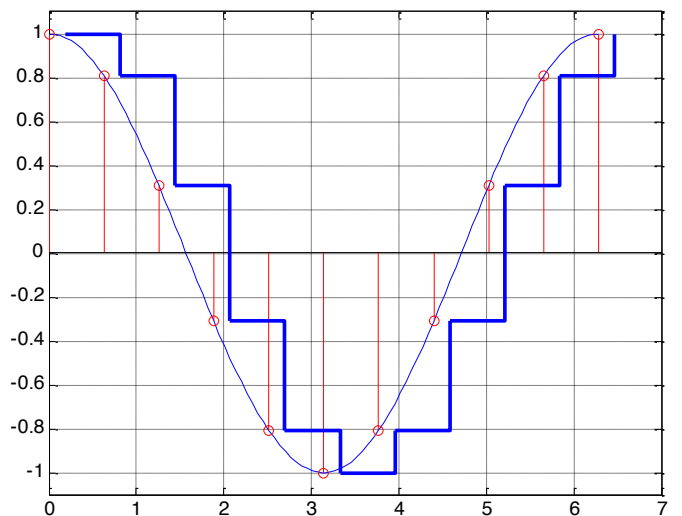
Konštantná interpolácia



Lineárna interpolácia



Interpolácia
Nekauzálnou
sústavaou,
výstup bez
oneskorenia

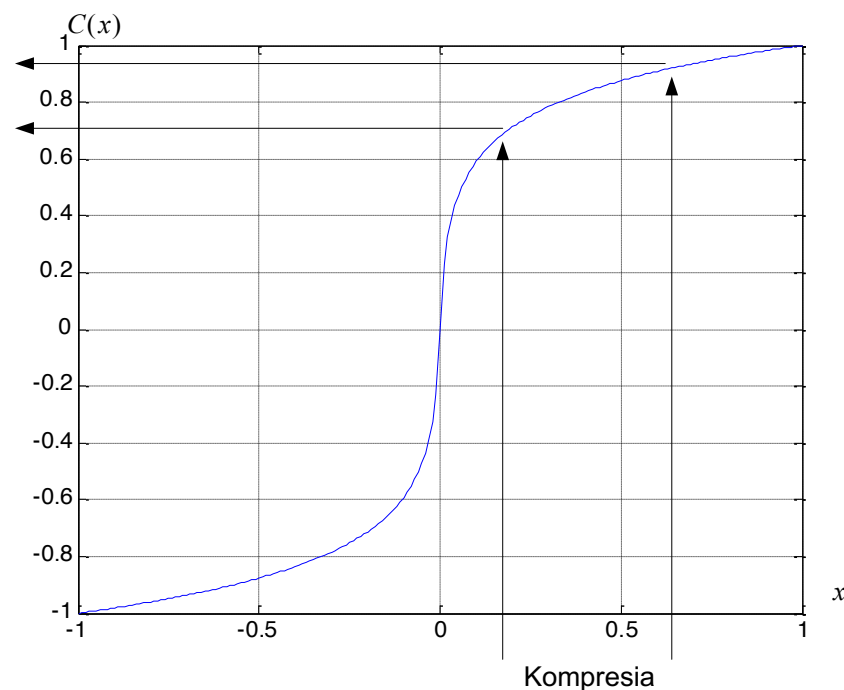


Interpolácia
LSKI, výstup
oneskorený

Obmedzenie/obnovenie dynamiky rozsahu

- Zachovanie dynamiky signálu (rozsah veľkostí signálu) je dôležitý parameter pri spracovaní audio signálov
 - urezanie signálu pri prekročení max. hodnoty je veľmi rušivé
 - používajú sa kompondéry (kompresor + expandér)
 - napr. „ μ law“ kompondér mapuje hodnoty pomocou funkcie $C(x)$, kde $x \in (-1,1)$

$$C(x) = \text{sign}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}, \text{ obvykle } \mu = 255$$

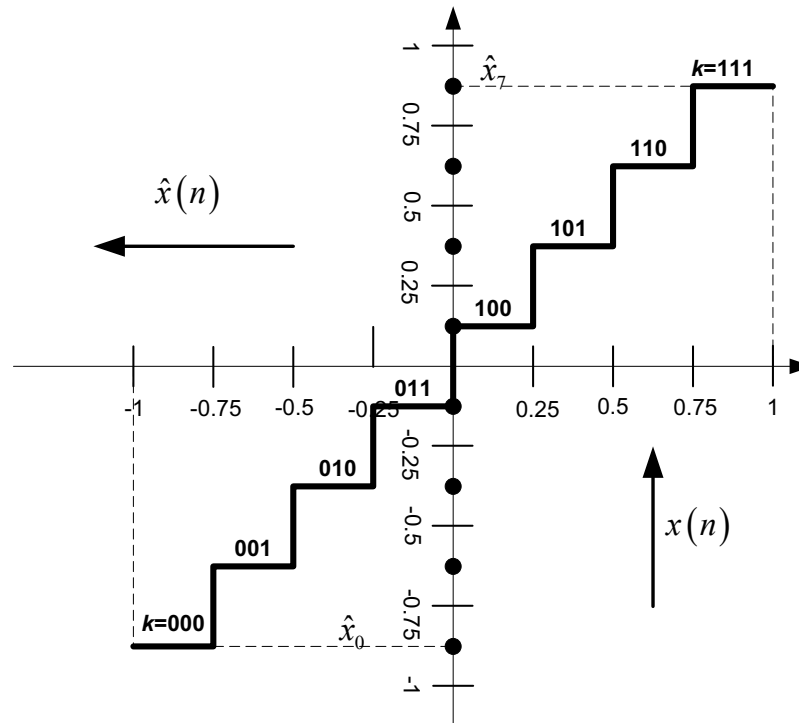


- V spojení s rovnomerným 8 bitovým získavame také najmenšie Δ , aké by bolo pri 13 bit lineárnej kvantizácii (t.j. pri SNR máme zisk približne 30dB)

Kvantizácia (diskretizácia signálov v hodnote)

- čo má spoločné kvantizácia a vzorkovanie? (obe diskretizujú)
- Základný spôsob riešenia - rovnomerný lineárny skalárny kvantizátor (ale pozor, kvantizácia nie je lineárna operácia, $Q\{x(n) + y(n)\} \neq Q\{x(n)\} + Q\{y(n)\}$)
 - nech $x(n) \in (A, B)$
 - Slovom “skalárny” sa myslí, že každá vzorka je kvantovaná nezávisle
 - Interval rozdelíme na K neprekrývajúcich sa intervalov I_k
 - Slovom rovnomerný (lineárny) sa myslí to, že intervaly I_k majú rovnakú šírku $\Delta = (B - A) / K$ (ale pozor, kvantizácia nie je lineárna operácia, $Q\{x(n) + y(n)\} \neq Q\{x(n)\} + Q\{y(n)\}$)
 - Δ sa nazýva kvantizačný krok
 - Počet intervalov K je volený ako $K = 2^R$
 - $\hat{x}(k)$ je volené v strede príslušného intervalu I_k

Príklad: lineárny skalárny kvantizátor s $K=8$, $R=3$, $x(n) \in (-1,1)$. Guličkami sú označené rekonštrukčné hodnoty $\hat{x}(k)$



Dá sa odvodiť, že priemerný výkon chybového signálu kvantizačnej chyby $e(n)$ je: $P_e = \frac{\Delta^2}{12}$

Následne uvažujúc $\Delta = (B - A) / 2^R$ dostávame

$$P_e = P_x 2^{-2R} \text{ resp. } SNR = P_x / P_e = 2^{2R} \text{ resp. } SNR_{dB} = 10 \log_{10} 2^{2R} \approx 6R \text{ dB}$$

T.j. : Pridaním 1 bitu rozlíšenia sa zvýši odstup signál/šum o cca 6dB. Napr. pri Audio CD vzorkách 16bitov môžeme dosiahnuť SNR=96dB

Ako sa dá kvantizácia ešte vylepšiť?

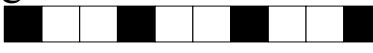
- Napr. kvantizačná chyba sa dá rozptýliť v čase (resp. v priestore) => DITHERING.
- Chyba spôsobená kvantovaním je prenášaná na susedné pixely (napr. metóda Floyd-Steinberg)
- Táto technika sa používa najmä pri obrazových signáloch (využíva sa vlastnosť ľudského oka, že pixely umiestnené dostatočne blízko vedľa seba nevníma jednotlivo, ale ich hodnotu „priemeruje“)



Príklad štruktúry jasu v riadku pixelov odpovedajúci rôznym úrovňam jasu pôvodného signálu:

Úroveň 64: 

Úroveň 128: 

Úroveň 192: 

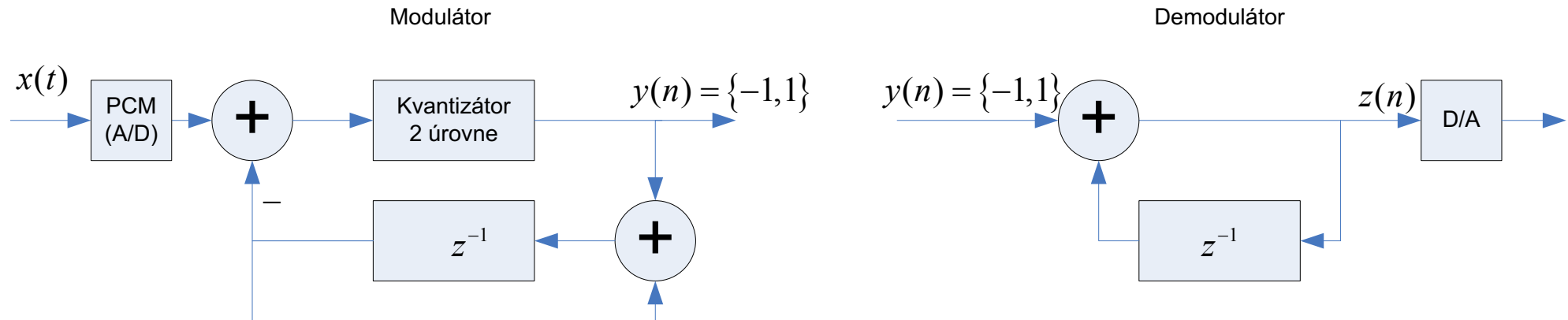
Čo je to PCM?

- Pulzne kódová modulácia
- Metóda prevodu spojitého signálu na diskretný, výslednej hodnote $\hat{x}(k)$ priradí **kód** (R bitový, binárny)
- Ak je použitá Lineárna kvantizácia jedná sa o Lineárnu PCM (LPCM)

Delta modulácia (Δ modulácia)

- Metóda A/D prevodu (najpopulárnejšia alternatíva)
- Je zároveň najjednoduchšou formou Diferenčnej PCM (DPCM) modulácie, kde sú kódované rozdiely medzi susednými vzorkami

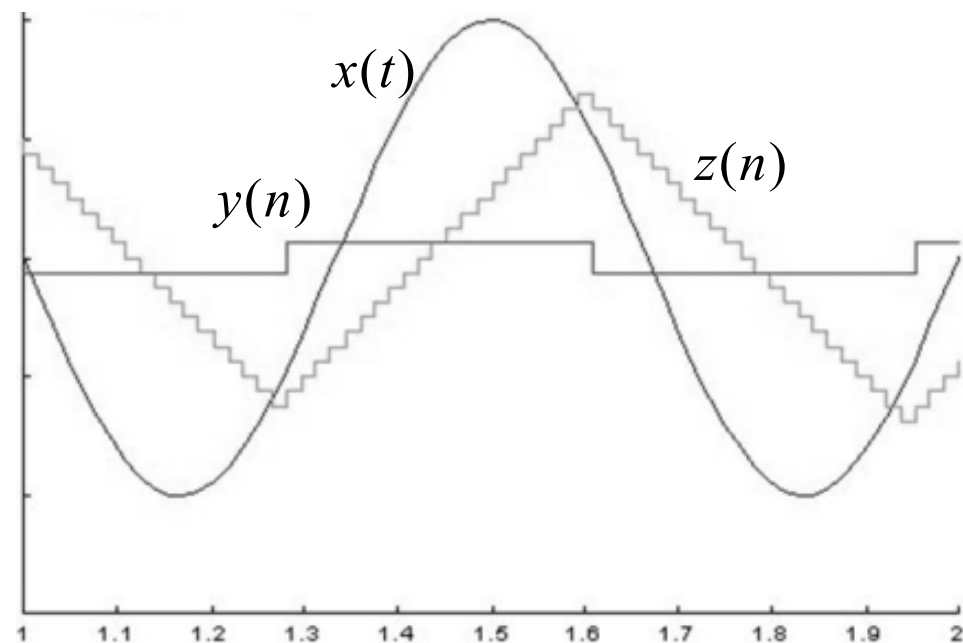
Zjednodušený model delta modulácie (využívame A/D a D/A prevod ako componenty):



V modulátore máme prítomný “integrator” a kvantizátor rozdielu

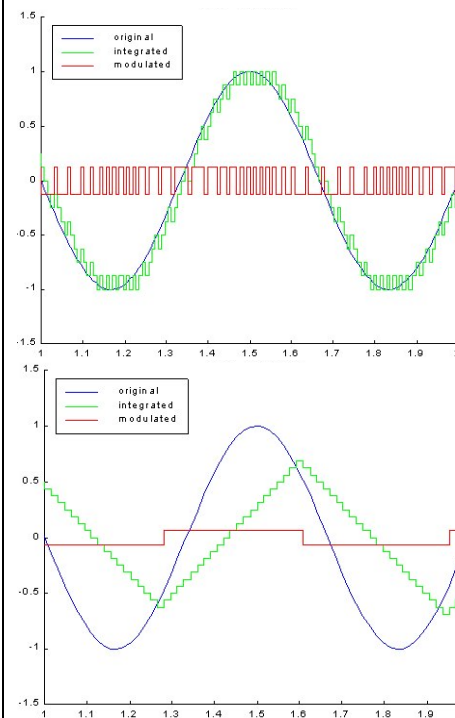
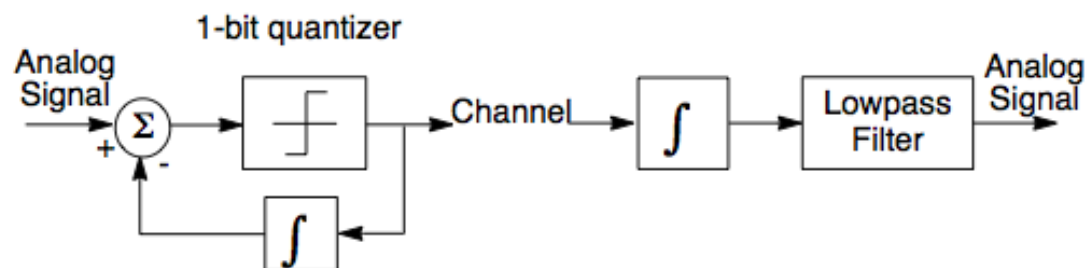
V demodulátore máme prítomný “integrátor”.

Tvary signálov pri Delta modulácii:

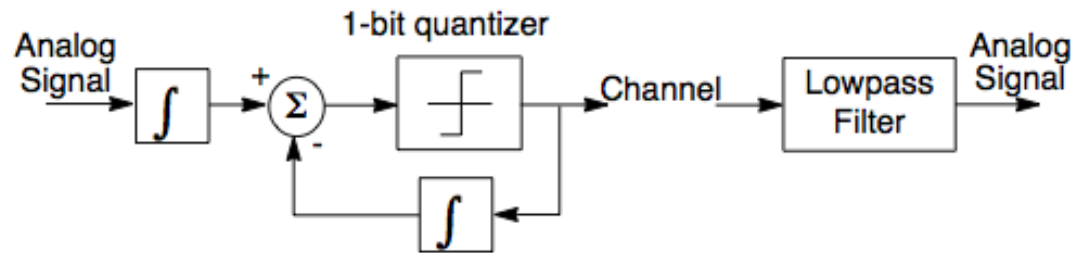


Sigma delta prevodníky A/D a D/A

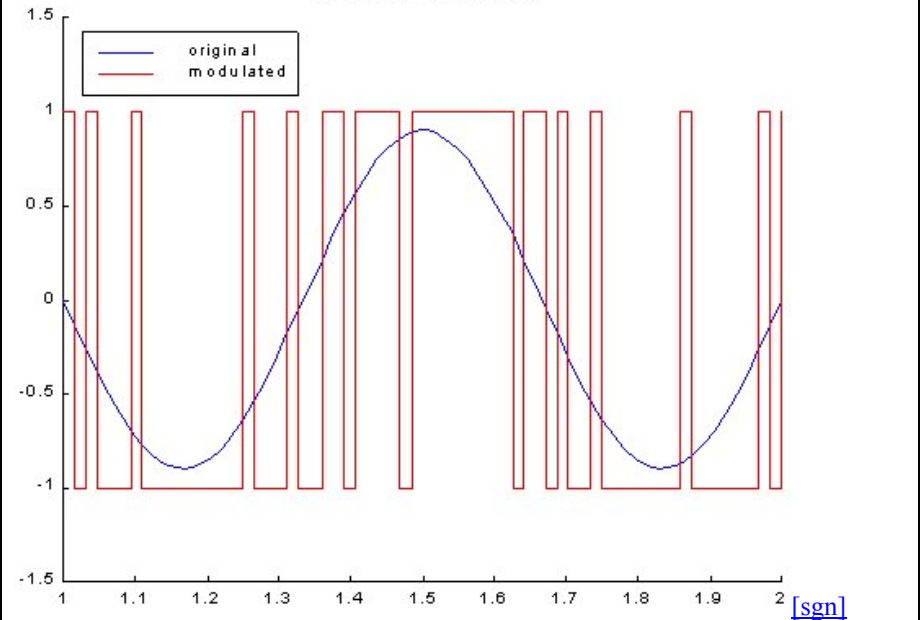
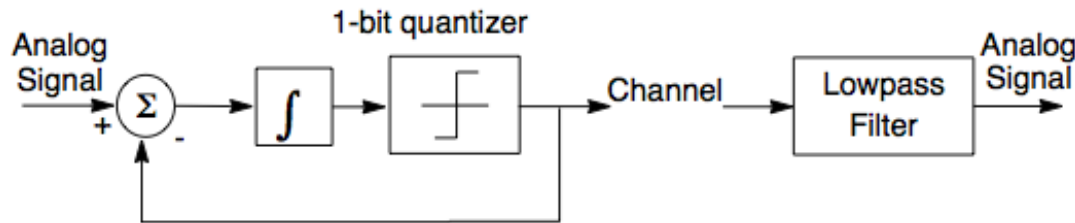
Delta modulácia



Sigma delta (presun integrátora z demodulátora) [\[moto\]](#)

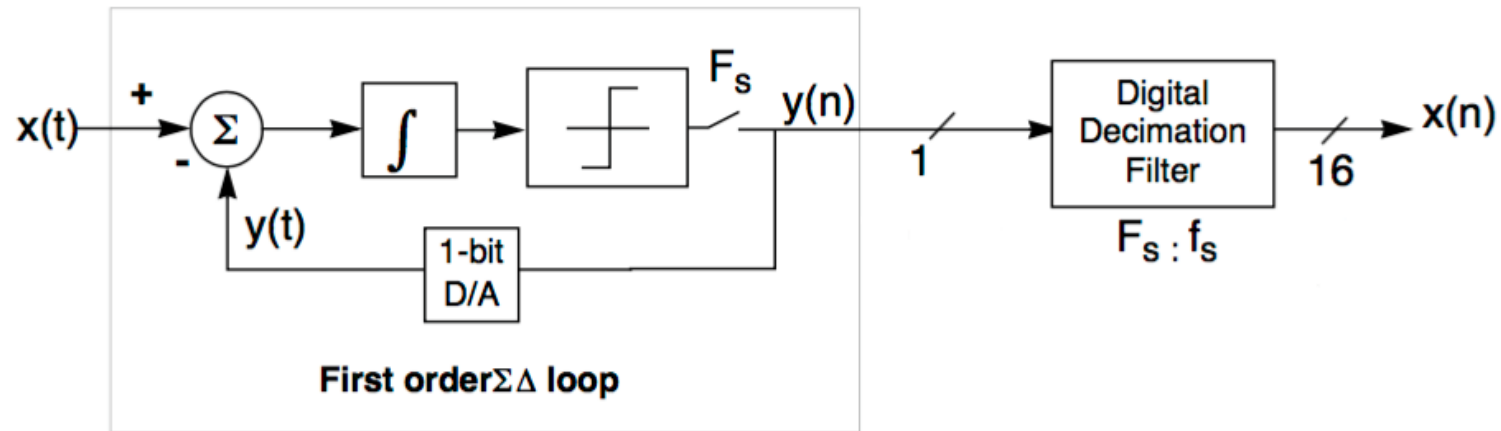


Realizácia s jedným integátorom

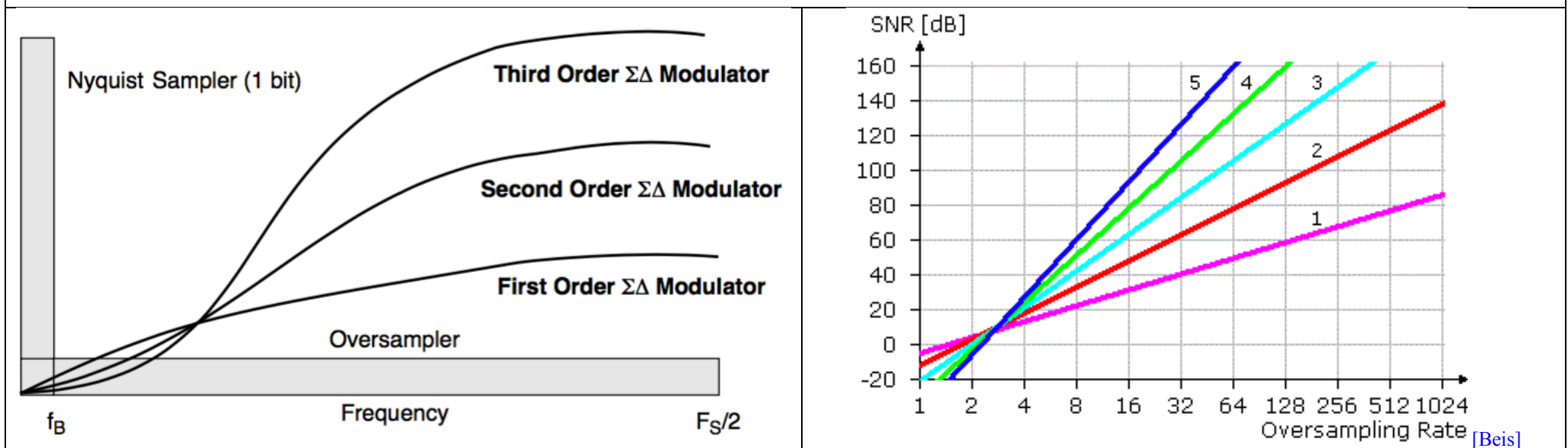


- Aby delta modulácia stíhala, bolo by treba $65536 \cdot 44.1\text{kHz} = 2.89\text{GHz}$
- Odpoveď je sigma delta, tá stíha a otázka je aký odstup signál šum vie dosiahnuť, t.j. keď sa porovnáva s PCM, koľko bitovým PCM vzorkám odpovedá

Realizácia A/D prevodníku pomocou Sigma–delta prevodníka



- Takýto prevodník avšak pri f_{vz} 64x väčšej ako je tá pri PCM nedosahuje 16 bitové rozlíšenie vzoriek (odstup 96dB), iba cca 50 dB (viď obrázok vpravo dole)
- Aby sa zlepšoval S/N používajú sa v praxi techniky na tvarovanie šumu – vyššie rády prevodníka



Systemy s rôznym taktovaním (SRT)

Motivácia

- Pamätáte na „Digital decimation filter“ pri Sigma-delta prevode
- Máme CD 44,1 kHz audio signál a chceme z neho získať 8kHz signál (alebo naopak). Ako na to?

(Vid' pdf: FB_A_SRT.pdf)