

ZVUKOVÁ INFORMÁCIA

1. Fyzikálna podstata zvuku

Zvuk - kmitavý pohyb molekúl vzduchu, je vyvolávaný pružným odporom prostredia. Kmitom hmotného bodu rozumieme pohyb bodu z rovnovážnej polohy do miesta najväčšej výchylky - **amplitúdy**, odtiaľ do druhej amplitúdy a späť do rovnovážnej polohy.

Základný tón je zvuk, ktorého zvukovú intenzitu môžeme v závislosti na čase popísať sínusoidou.

Zložený tón (alebo len tón) je lineárna kombinácia základných tónov.

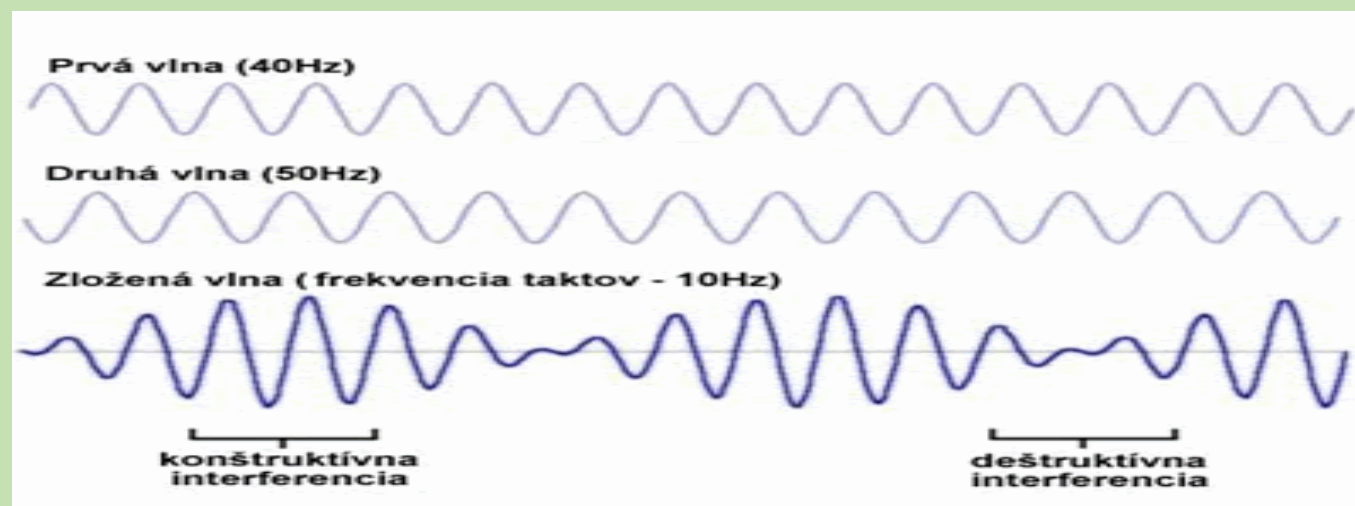
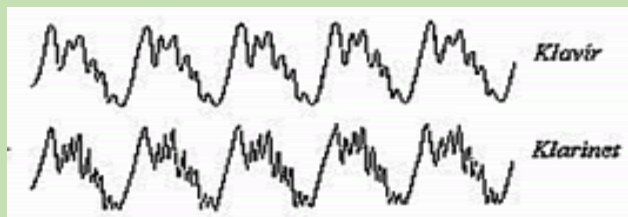
Akustika - veda, zaoberajúca sa skúmaním zvuku (z gréckeho "akustikos", tj. vzťahujúci sa k počutiu).

Počuteľný zvuk - 16 Hz až 16000 Hz

Infrazvuk - pod hranicou 16 Hz

Ultrazvuk - nad hranicou 16000 Hz

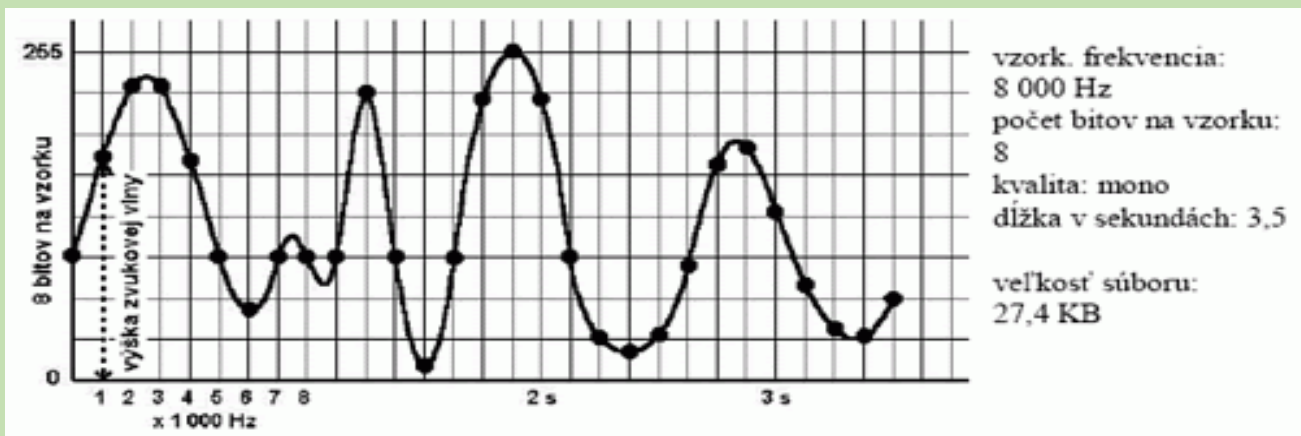
Hyperzvuk - molekulárna akustika (106 MHz)



2. Základné charakteristiky zvuku

- **Frekvencia (Hz)** – charakterizuje **výšku tónu**
- **Amplitúda** (výška vlny) – **hlasitosť**
- **Vzorkovacia frekvencia** je číslo udávajúce, koľkokrát za sekundu sa zosníma výška analógovej vlny (bežne od 8 000 Hz do 48 000 Hz),
- **Počet bitov na vzorku** je číslo vyjadrujúce **bohatosť** zvuku; 8 bitov znamená 256 hodnotovú stupnicu v smere osi y, 16 bitov znamená $2^{16} = 65\,536$ hodnotovú stupnicu
- **kvalita** závisí od počtu kanálov, pri **mono** jeden (1), pri **stereo** dva (2)
- dĺžka v sekundách je **čas trvania skladby** (zvuku).

V obrázku je zakreslená analógová zvuková informácia, ktorá sa s hustotou vzorkovacej frekvencie digitalizuje odčítaním výšky zvukovej vlny, napr. posledný bod má kód $63_{10} = 00111111_2$ (v obrázku je zakreslené len každé tisícé odčítanie výšky zvukovej vlny z 8000 odčítaní za sekundu).



**veľkosť nekomprimovaného zvukového súboru =
= vzorkovacia frekvencia x počet bitov na vzorku x kvalita x dĺžka v
sekundách**

Z hľadiska vzniku delíme zvuky na:

- **prirodzené** - pochádzajúce z prírodného fyzikálneho zdroja.
- **syntetické** - zvuky vytvorené pomocou zvukovej syntézy.

Z hľadiska formy delíme zvuky na:

- **reč** - je dominantou komunikácie medzi ľuďmi. Ľudský hlas je monotónny, má rôznu intenzitu, zafarbenie, prízvuk, melodicu a rýchlosť.
- **nerečové zvuky** - hudba, šum. Hudba má mnoho podôb, jej základom je rytmus a melódia. Šum možno definovať ako najmenej užitočnú formu zvuku, ktorá sa vyskytuje samostatne ako ruch a hrmot a väčšinou doprevádza ostatné dôležité formy zvuku, ako sú reč alebo hudba.

Z hľadiska spracovania a uchovania:

- **analogový** - spracovaný a zaznamenaný analogovým rekordérom na analogové médium - LP, MC
- **digitálny** - spracovaný a zaznamenaný softvérom na digitálne médium- CD, MD, DVD, v formátoch - .cda, .wma, .mp3, .ogg....
- **digitalizovaný** - prípad, keď je analogovo spracovaný a zaznamenaný zvuk prevedený pomocou prevodníka na digitálny.napr. súbory typu .wav.

Z hľadiska prezentácie možno zvuk rozdeliť na:

- **monotónny** - jeden zvukový kanál
- **stereofónny** - dva zvukové kanály, reprezentované najmä hudobnými CD nosičmi.
- **priestorový** - obvykle 5+1, príp. 7+1 hudobných kanálov, princípom je posun jednej zvukovej stopy, vzhľadom k inej, a priestorové rozmiestnenie reproduktorov. Využíva sa v hlavne v systémoch domáceho kina.Prvé číslo označuje počet reproduktorov rozmiestnených v určitom priestore, kde 2 reproduktory sú hlavné, alebo nazývané aj predné, ďalší reproduktor je centrálny, určený najmä na reprodukciu rečových zvukov, a ďalšie dva alebo štyri reproduktory označované ako zadné, alebo efektové, slúžia na vytvorenie efektu priestorového zvuku. Posledný reproduktor +1 označovaný ako subwoofer slúži na reprodukciu nízkych frekvencií: od 20 do 250Hz.

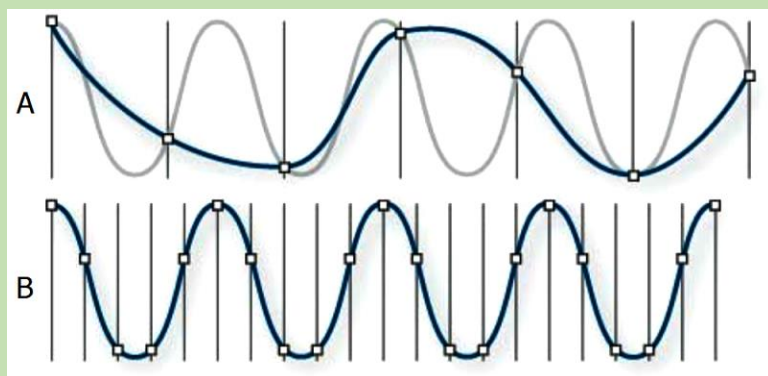
3. Digitalizácia zvuku

- **Vzorkovanie** (sampling)

A/D prevodník v diskretných časových intervaloch (akoby pulzoch) meria úroveň analógového signálu (zväčša napätia, ktoré vzniká zmenou odporu mikrofónu pri zmene tlaku vzduchu v jeho okolí), sú zaznamenávané aktuálne hodnoty analógového signálu v pravidelných intervaloch s istou frekvenciou.

Vzorkovacia frekvencia (samplingrate) - počet odčítaní vzorky za 1 s. Pri frekvencii 10kHz sa zaznamená hodnota signálu 10 000 krát za sekundu.

Nyquistovo kritérium – **Frekvencia, ktorou sa prevádza vzorkovanie, musí byť aspoň 2-krát vyššia ako frekvencia pôvodného signálu.**



A – vzorkovanie nízkou frekvenciou => skreslenie originálneho zvuku
B – vzorkovanie vysokou frekvenciou => digitálny a originálny zvuk su takmer identické

frekvencia, ktorou sa vzorkovanie prevádza, musí byť aspoň 2-krát vyššia ako frekvencia pôvodného signálu (ak max. počítelný zvuk je 20 - 20000 Hz => vzorkovacia frekvencia aspoň 40 - 40000 Hz.

V praxi sa vzorkuje s 10% navýšením - zvyčajne sa používajú vzorkovacie frekvencie 44,1 kHz a 48 kHz, v novších, najmä profesionálnych zariadeniach je to 96 kHz a 192 kHz kombinácia s 24-bitovým kvantovaním => zvuk s vysokým rozlíšením - **High Definition Audio** (HD Audio)

Najbežnejšie frekvencie:

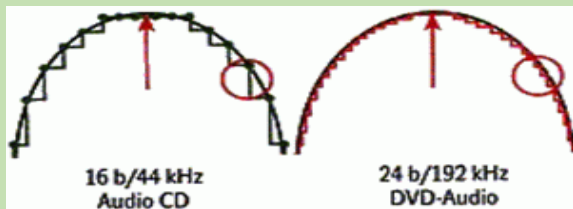
- 11,025 kHz - telefónna kvalita
- 22,05 kHz - rozhlasová FM kvalita
- 44,1 kHz - CD kvalita
- 192 kHz DVD kvalita



Vyššia vzorkovacia frekvencia - kvalitnejší zvuk

Zvuk v **CD kvalite** (vzorkovacia frekvencia 44,1kHz, 16bit, stereo) => veľkosť nekomprimovaného záznamu o dĺžke 1s = 44100.16bit.2.1s = 172 kB

Zvuk vo formáte **DVD-Audio** (vzorkovacia frekvencia 92kHz, 24 bitové rozlíšenie).



- **Kvantovanie**

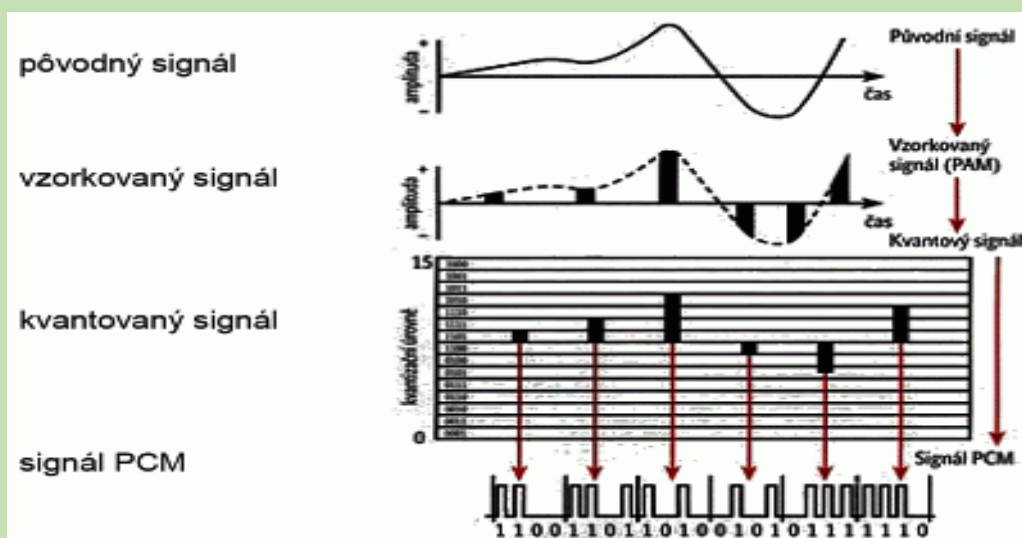
A/D prevodník s danou presnosťou zaznamenáva, **kvantuje** hodnotu úroveň analógového signálu (teda zaokrúhľuje spojité signály na diskkrétne čísla). Zdanlivo ide o moduláciu (konvolúciu) pôvodného signálu signálom s pravidelnou pulznou charakteristikou, z čoho pochádza aj označenie výsledného číselného zápisu takto získaného zvuku – **PCM** (*pulse-code modulation*, teda **pulzne kódová modulácia**), ktorý prvý raz popísal britský vedec Alec Reeves v r. 1937.

Ide o získanie vzorky v danom časovom okamihu, vyjadrenie jej kvantity (číslíkový zápis)

Digitálne systémy - zaznamenávajú údaj binárnym číslom nejakej dĺžky - **rozlíšenie vzorky** alebo **bitová hĺbka** vzorky.

- 8 bitové rozlíšenie - prvotné zvukové systémy, znamenajú úroveň vyjadrená číslami v rozsahu -128 a 127, dokopy 256 úrovní, súčasné systémy - 16 bitové rozlíšenie (65 536 úrovní), 20 bitové (vyše milióna úrovní), 24 bitové (vyše 16 miliónov úrovní) a 32 bitové (vyše 4 miliardy úrovní - HD kvalita).

Kvantovaním sa namerané hodnoty zaokrúhľujú na najbližšiu úroveň amplitúdy každej vzorky, preto má digitálny signál schodovitý priebeh.



Kompresný algoritmus - sled čísel, vyjadruje vlastnosti zvukového signálu.

kódovanie - hodnota amplitúdy v každej vzorke je zakódovaná do podoby zrozumiteľnej pre počítač; vplyvajúci na efektívnosť formátu

Najčastejšie používané druhy kódovania zvukových formátov:

- Huffmanov kód
- Aritmetické kódovanie
- Modifikácie Huffmanovho a aritmetického kódovania (Golombovo kódovanie , rozsahové kódovanie,...)

4. Formáty digitálneho zvuku

Bezstratová kompresia zvuku

- **flac** - najbežnejší formát, malý kompresný pomer, veľmi nenáročný na dekódovanie; z bezstratových kodekov najlepšia podpora v počítačových i prenosných prehrávačoch; vzork. frekvencia 1 Hz - 1048.57 kHz
- **wav** - (waveform – audio formát); veľmi veľké súbory
- **APE** - nazývaný Monkey's Audio, výbornú kompresia, nemá dobrú rýchlosť dekódovania ako flac; vzork. frekvencia 8 Hz – 48kHz
- **TAK** - nový formát, uverejnený v roku 2007; výborná kompresia APE, nenáročnosť dekódovania formátu flac.
- **WavPack** - má tiež hybridnú a stratovú kompresiu, technologicky veľmi pokročilý formát.
- **Lossless Audio (LA)**
- **True Audio (TTA)**
- **OptimFROG**

Stratová kompresia zvuku

- **MP3** - kompresný algoritmus je odvodený z algoritmu MPEG pre kompresiu videa; celým názvom MPEG-1/2/2.5 layer 3; vďaka kodeku LAME pri správnom nastavení dosahuje výbornú kvalitu zvuku, vhodný pre bit rate 128-256 kbps; oproti formátu WAV môže obsahovať tzv. ID3 TAG; vzorkovacia frekvencia 8- 48kHz; 5min. pesnička sa koduje cca 10min. kompresný pomer 12:1
- **VQF** - vyvinuté v Japonsku; dosahuje lepších kompresných pomery ako MP3. Najpoužívanější bitrate u MP3 je 128kb/s u VQF zodpovedá bitrate 80kb/s; ešte lepšie je na tom VQF pri bitrate 96kb/s, ktorá kvalitou prekoná 256kb/s u MP3, čo je v podstate CD kvalita; VQF súbory sú asi o 30% menšie ako MP3 pri ešte lepšej kvalite; kódovanie je pomalé; 5min pesnička trvá s VQF enkóderom trvá cca 45 minút.
- **WMA** - formát Microsoftu; veľmi nízka kvalita v porovnaní s vyššie uvedenými kompresiami, nepoužíva sa.
- **OGG Vorbis** - favorit medzi stratovými kompresiami hudby; je zdarma; špičková kvalita zvuku, široká podpora v prehrávačoch, kvalitné prenosné prehrávače Ogg Vorbis podporujú, vhodný pre bit rate 64-500 kbps; pri 96 kbps dosiahne kvalitu 128 kbps MP3; kopíruje pôvodný záznam a od istej frekvencie, závislej na použítom bitrate, veľmi rýchlo klesá zastúpenie frekvencie; vzork. frekvencia 1 Hz - 200 kHz
- **WMA Pro** - vylepšená verzia WMA; veľmi dobrá kvalita, porovnateľná s AAC, problém s vytváraním WMA Pro súborov a s ich prehrávaním; minimálna podpora v SW i HW prehrávačoch.
- **AAC** - celým názvom MPEG-4 AAC; pôvodná verzia Atrac3; vzork. frekvencia 8 Hz - 192 kHz
- **MPC** - veľmi kvalitný formát, vyvíjaný veľmi pomaly, veľmi málo známy; dobrá podpora SW, HW podpora minimálna; zaujímavá alternatíva k Ogg Vorbisu a MP3.
- **AC3** - alebo Dolby Digital; používanie výhradne na DVD, slabá kvalita pri nižšom bit rate, ideálne je 192-256 kbps (u stera).

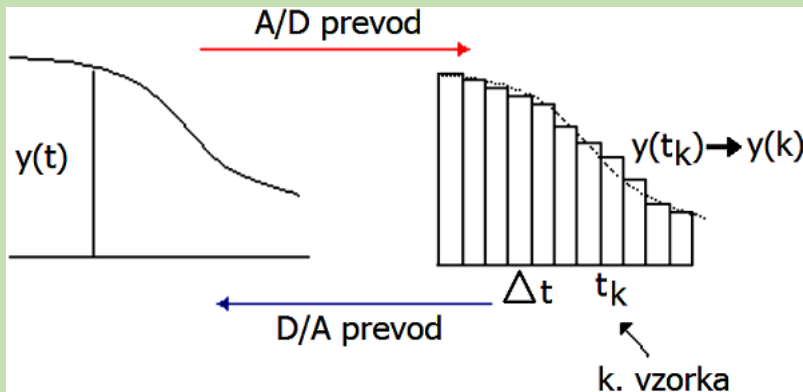
Špeciálny prípad

- **MIDI** - komunikácia prebieha pomocou digitálnych správ na 1 až 16 kanáloch; vlastnosti midi stôp sú zapísané v textovej podobe; súbory majú malinkú veľkosť (rádovo desiatky kB); sú vhodné pre web, prezentáciu a pod. Zvuková karta je kľúčové miesto celého reťazca, lebo tá určuje výstupnú kvalitu MIDI súboru (mala by mať GM).

Digitalizácia A/D prevodník

Proces zmeny zvuku z analógového na digitálny.

Najdôležitejším prvkom v tomto procese je analógovo-digitálny prevodník (A/D prevodník). Pre opačný proces je potrebný D/A prevodník



Digitalizácia

Analógový zvuk nadobúda nekonečné množstvo hodnôt, a preto je nemožné pracovať s takýmto zvukom bez predchádzajúcej digitalizácie.

Táto prebieha v troch krokoch. Výsledkom je sled logických jednotiek a núl, ktoré reprezentujú hodnotu v danom čase.

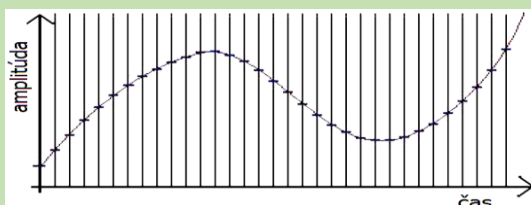
Digitálny zvuk sa skladá z obmedzeného množstva hodnôt, ktorých počet vopred určíme. Prechod od jedného číslicového znaku (stavu) k druhému sa uskutočňuje skokovito.

Analógové signály prechádzajú jeden do druhého plynulo (spojito)

Vzorkovanie

Proces, v ktorom sa z analógového signálu zachovávajú len hodnoty každých niekoľko μs podľa vzorkovacej frekvencie.

Vzorkovacia frekvencia hovorí o tom, koľko vzoriek je v jednej sekunde záznamu, teda koľko hodnôt zaznamenáme za jednu sekundu. Čím je táto hodnota vyššia, tým kvalitnejší zvuk získame. Inými slovami: čím vyššia je vzorkovacia frekvencia, tým presnejšia je reprezentácia tvaru vlny v digitálnom systéme.



Vzorkovanie

Aby sa dal vzorkovaný signál pri reprodukcii plne zrekonštruovať, musí byť splnené tzv. [Nyquistovo kritérium](#).

Kvantovanie, rozlíšenie vzorky (bitová hĺbka vzorky)

Zmeranie aktuálnej úrovne signálu (teda získanie vzorky v danom časovom okamihu).

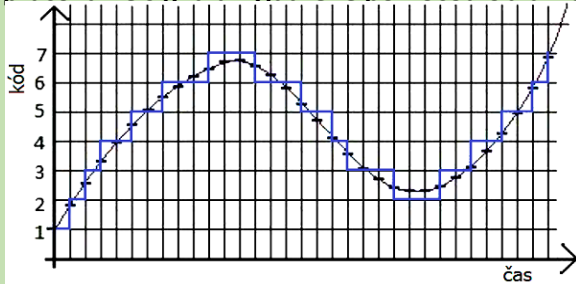
Musí sa vykonať s istou presnosťou.

Súčasný digitálne systémy sú binárne, preto je potrebné zaznamenať údaj binárnym číslom nejakéj dĺžky. Táto dĺžka sa nazýva **rozlíšenie vzorky** alebo **bitová hĺbka vzorky**. Prvotné zvukové systémy mali rozlíšenie 8 bitov (teda

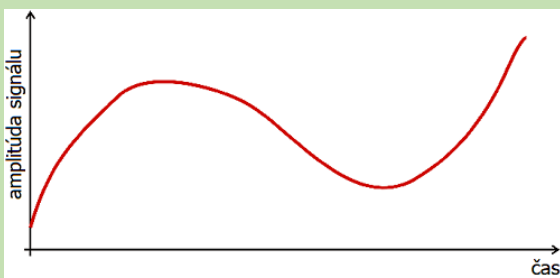
zaznamenaná úroveň bola vyjadrená celými číslami v rozsahu -128 a 127 , spolu $256 = 2^8$ úrovní). Súčasnité systémy používajú skôr 16 bitov ($2^{16} = 65\,536$ úrovní), lepšie 20 bitov (vyše milióna úrovní) a 24 bitov (vyše 16 miliónov úrovní), profesionálne dokonca 32 bitov (vyše 4 miliardy úrovní).

Pri kvantovaní je aktuálna úroveň zaokrúhľená k najbližšej úrovni ako je znázornené na obrázku.

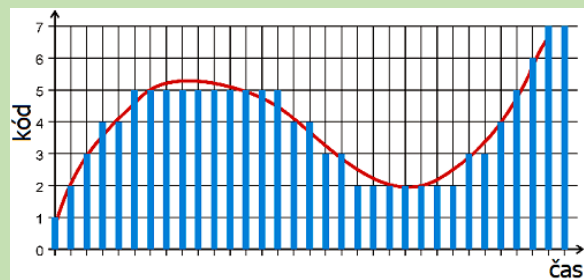
Spracovanie signálu vviadrené pomocou obrázkov



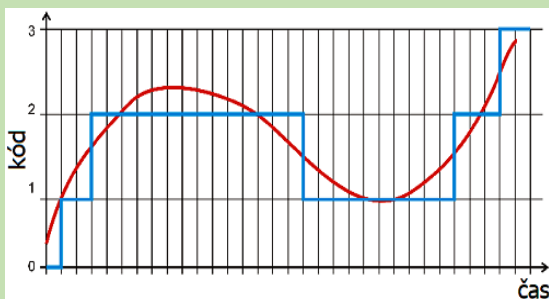
Kvantovanie



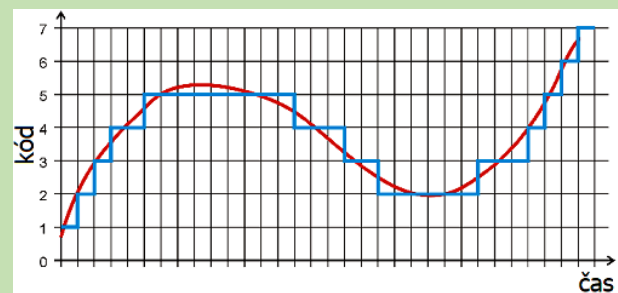
x



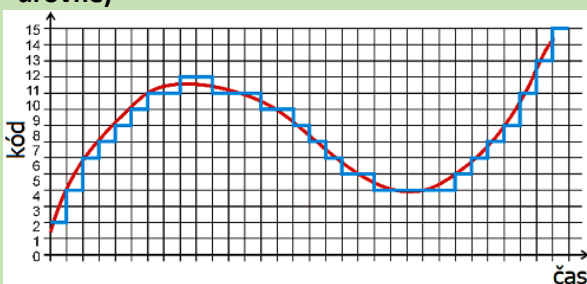
Pôvodný signál



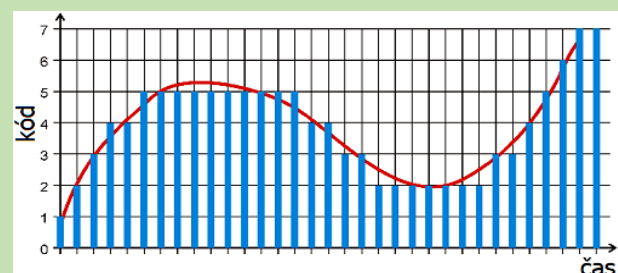
Vzorkovanie signálu v časových intervaloch



Signál kvantovaný s rozlíšením 2 bity ($2^2=4$ úrovne)



Signál kvantovaný s rozlíšením 3 bity ($2^3=8$ úrovni)



Signál kvantovaný s rozlíšením 4 bity ($2^4=16$ úrovni)

Reálna reprezentácia číslicového signálu, ako postupnosti vzoriek

. Americký matematik a inžinier Claude Shannon (1949-2001) zistil, že treba brať do úvahy frekvencie až do výšky 44,1 kHz, inak by mohol byť výsledný zvukový signál pre ľudské ucho skreslený.

ZDROJE:

<https://sites.google.com/site/rosicova/studijne-materialy/multimedia/zvuk/formaty-digitalneho-zvuku>

<http://zvuk.atrip.sk/>

<http://server.gphmi.sk/machova/zvuk/zaznam.html>