

4.7.6 Analogové a digitální zachycení skutečnosti

Předpoklady:

Pedagogická poznámka: Povídání o rozdílech mezi analogovou a digitální technikou není sice náplní osnov, ale právě proto představuje jeden z nádherných příkladů odtrženosti školy od života. I když se s oběma pojmy operuje v reklamách takřka neustále ani nejlepší studenti nebyli schopni před touto hodinou vysvětlit, jaký je mezi digitálním a analogovým signálem rozdíl. Pokud se nějaký pokus o vysvětlení objevil, byl opravdu kuriózní a hlavně fakticky špatně.

Pokus: Mám závaží na hodně dlouhém závěsu \Rightarrow kývá velmi pomalu s dlouhou periodou. Chci zachytit jeho pohyb v závislosti na čase. Jaké mám možnosti?

1. na závaží přidělám fix, pod závaží umístím papír, který se bude rovnoměrně pohybovat \Rightarrow fix se při kmitání závaží pohybuje po posunujícím se papíře a kreslí na něj sinusovky \Rightarrow
 \Rightarrow kmitání závaží jsem přímo převedl na obrázek (a uchovávám ho jako obrázek) = **analogové zachycení signálu (zachycení nápodobou)**

výhody:

- poměrně technicky jednoduché (stačí fix, motor na papír a funguje to i beze mě)
- pohyb zachycuji v každém okamžiku (nic mi neuteče, i kdyby závaží provádělo nějaké velmi rychlé kmity s dostatečně tenkým fixem a dostatečně rychle se pohybujícím papírem je pod lupou najdu)
- v závislosti na fixu, papíru, rychlosti posunu papíru a dalších podmínkách můžu získat i velmi přesné zachycení pohybu závaží
- přesnější zachycení neznamena vždy skladování většího množství papíru

nevýhody:

- originál záznamu je pouze jeden a jakýkoliv pokus o překreslení bude nevyhnutelně méně přesný (něco třeba neobkreslím)
- kvalita záznamu se pořád zhoršuje (papír bledne, fix bledne, papír se může roztrhnout) a kopie jsou vždycky horší

2. vezmu do ruky stopky, v pravidelných intervalech měřím polohu a zapisuji ji do tabulky (podle ní pak můžu nakreslit graf apod)

\Rightarrow kmitání závaží jsem přímo převedl na čísla (a uchovávám ho jako čísla) = **digitální zachycení signálu (zachycení čísla)**

výhody:

- originál záznamu není ničím zajímavý (jakákoliv tabulka s opsanými čísly splní stejnou službu jako tabulka, do které jsem zapisoval), kopírovat můžu bez omezení
- kvalita záznamu se nezhoršuje (dokud jdou přečíst písmenka, mám pořád to samé, co jsem měl na začátku)
- možnost se rychle podívat přímo na okamžik, který mě zajímá

nevýhody:

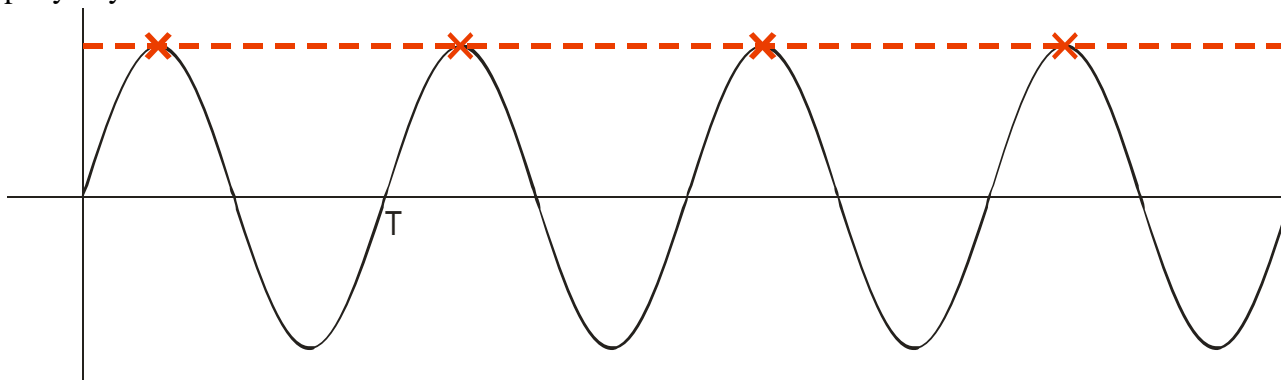
- technicky náročné (pokud budeme trvat na tom, aby se), těžko budu pohyb z naměřených čísel rekonstruovat
- pohyb zachycuji jen v okamžicích měření (všechno ostatní uteče a nic o tom nevím)

- zpřesnit záznam nejde bez zkrácení intervalu mezi měřeními a použití přesnějšího měřidla
- přesnější zachycení znamená tabulku s větším množstvím přesnějších čísel

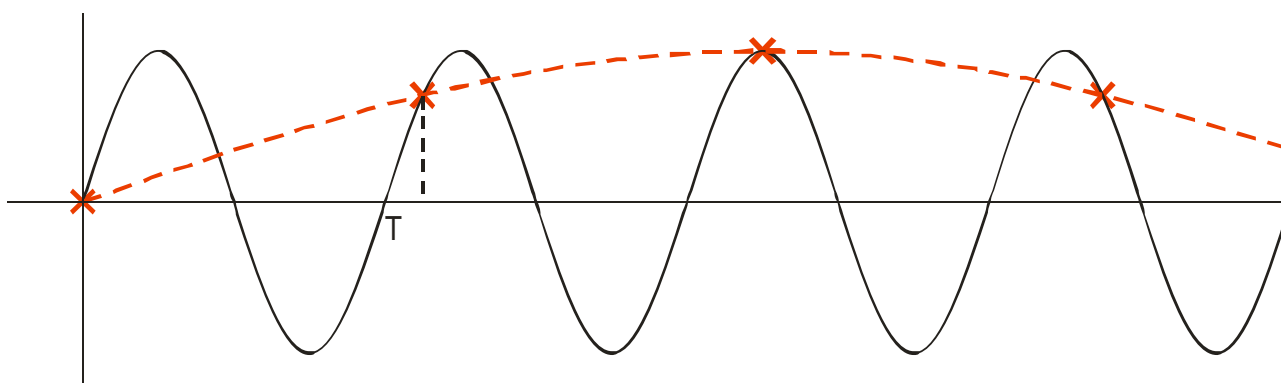
Fakt, že kromě okamžiků, ve kterých měřím, nevím nic o tom, jak pohyb vypadá má zajímavé důsledky.

Na obrázcích je černě nakreslena sinusovka, která zachycuje (analogově) pohyb kyvadla. Jak závisí výsledek digitálního měření na intervalu mezi jednotlivými měřeními?

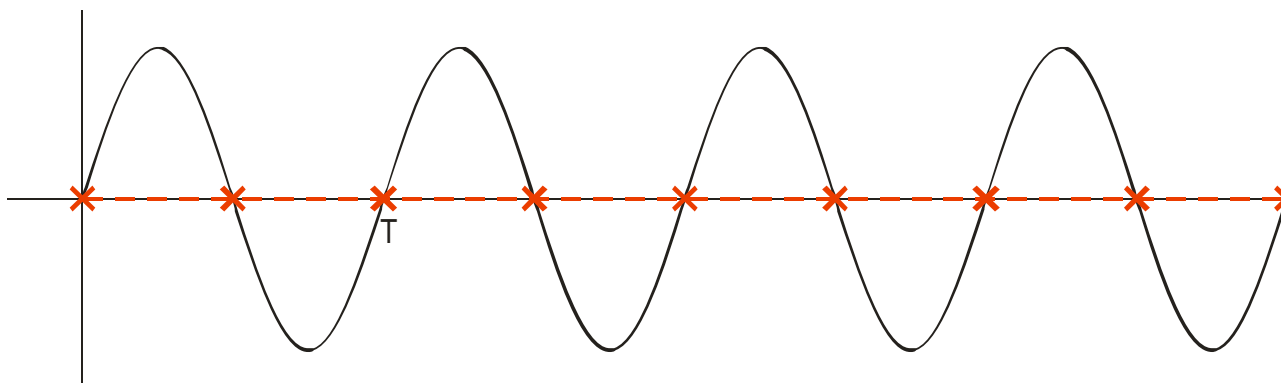
Polohy kyvadla v jednotlivých okamžicích jsou nakresleny pomocí červených křížků. Čárkovaně je pak vyznačena trajektorie, která vznikne, když se snažíme na základě těchto poloh zrekonstruovat pohyb kyvadla.



Interval měření se shoduje s periodou kmitání kyvadla \Rightarrow kyvadlo je ve chvíli měření vždy na stejném místě (v našem případě v kladné maximální poloze) \Rightarrow naměříme stále stejnou polohu \Rightarrow zdá se, že se kyvadlo nekývá



Interval měření se o trochu delší než perioda kmitání kyvadla \Rightarrow kyvadlo je ve chvíli měření vždy v kmitu o kousek dál \Rightarrow zdá se, že se kyvadlo kývá s periodou, která je několikrát delší než skutečná perioda jeho pohybu.



Interval měření se rovná polovině periody kmitání kyvadla \Rightarrow v našem případě je kyvadlo ve chvíli měření vždy na stejném místě (v rovnovážné poloze) \Rightarrow zdá se, že se kyvadlo nekývá

Dodatek: Podobnou příčinu má také efekt „stojícího kola u jedoucího automobilu“. Film je ve skutečnosti promítaný sled 24 fotografií za sekundu. Když se díváme na kola rozjíždějícího se auta, kole se nejdříve roztáčejí, pak se ale začne jejich otáčení zpomalovat a při určité rychlosti se kola zastaví přesto, že auto pokračuje v pohybu. Vysvětlení je jednoduché. Pokud se kolo dokáže v době mezi vyfocením dvou po sobě jdoucích snímků otočit o jednu otáčku (nebo otočit o takový úhel, aby kvůli souměrnosti kola vypadalo stejně), je na všech snímcích ve stejné poloze a tudíž se zdá, že se netočí.

Jak vypadají rozdíly mezi analogovým a digitálním zachycením ve skutečnosti?

Př. 1: Najdi příklady analogových a digitálních technologií používaných v domácnostech.

Analogové technologie – gramofonová deska, magnetofonová kazeta, magnetofonové pásky, klasická fotografie, analogová televize, videokazety, NMT mobily 1. generace
Digitální technologie – CD, DVD, DAT kazety, MP3, digitální televize, Audio DVD, BlueRay disky, mini DV kamery, GSM mobily, digitální fotografie

Probereme si rozdíly na příkladu zachycení zvuku.

Zvuk = vlnění vzduchu = mikroskopické změny tlaku vzduchu ⇒ snažím se zachytit a opět zkonstruovat časovou závislost tlaku vzduchu

Analogový přístup (příklad gramofonová deska)

zachycení zvuku: od zvuku rozechvějí membránu („list papíru“), na chvějící se membránu přidělám jehlu, která se rozkmitá a vyreže drážku se křivými okraji (jak se jehla chvěla od membrány) do připraveného kotouče na desku (tak se to dělalo v úplných začátcích, později rozechvíval jehlu elektrický proud, který vznikal buď přímo v mikrofonech, nebo se pouštěl ze záznamu na magnetickém pásu), podle kotouče s drážkami vyrobíme matici a z té se lisují desky
přehrávání zvuku: přenoska (v podstatě jehla) jede drážkou v desce, rozechvívá se od okrajů, chvění drážky se mění na proud, který zesílíme a pustíme do reproduktorů
výsledek: průběh tlaku vzduchu je zachycen v křivé drážce na desce

Jak se projevují vlastnosti analogového přístupu?

Technicky jednoduché – první gramofony už 19. století, hotová deska se dá (o když samozřejmě potichu a špatně) bez zesilovače přehrávat i obyčejnou jehlou (jednodušší je to u starších desek se 78 otáčkami/minutu)

Zachycení všeho – na kvalitní aparatuře prý hrají moderní gramodesky lépe než CD (více u povídání u CD)

Možnost nezvětšování velikosti dat – se zjemňováním technologie se podařilo na přibližně stejně velkou desku zaznamenat několikanásobně delší skladby ve větší kvalitě

Jedinečnost originálu – vylisované desky jsou horší než vyrytý originál (chyby při dvojnásobném lisování)

Postupná ztráta kvality – při přehrávání desky dře jehla přenosky o drážku a tím je zarovnává ⇒ deska hraje čím dál hůř (nakonec jsou slyšet „jenom bicí a zpěv“)

Digitální přístup (příklad CD audio)

zachycení zvuku: mikrofón převede výchylky zvuku na výchylky elektrického proudu, tento proud jde do obvodu, který se nazývá AD (analog-digital) převodník, obvod měří každou sekundu 44 100 krát hodnotu napětí (smplovací frekvence 44,1 kHz) při měření rozeznává 65536 různých hodnot (16 bitová přesnost = číslo má ve dvojkové soustavě 16 cifer, takto můžeme vyjádřit 2^{16} čísel),

naměřené hodnoty se zpracovávají a ve dvojkové soustavě se zapisují na CD. Protože v současnosti jsou všechny nahrávky stereofonní (obsahují dva nezávislé zvuky, aby každý reproduktor mohl hrát něco jiného) každou sekundu je nutné zapsat na CD $44100 \cdot 16 \cdot 2 = 1411200$ jedniček nebo nul (ve skutečnosti o trochu více, protože se k datům ještě přidávají kontrolní součty).

přehrávání zvuku: laser v přehrávači sleduje laserovým paprskem spirálu na CD, podle odrazu paprsku pozná zda jde o jedničku nebo nulu (jak už víme, musí přečíst více než milion jedniček a nul za sekundu), zjištěná čísla odešle do obvodu, který se nazývá DA (digital-analog) převodník, kde se z čísel sestrojí křivka. Zrekonstruovanou křivku odešleme do zesilovače a pak do reproduktorů.

výsledek: průběh tlaku vzduchu je zachycen ve formě čísel ve spirále na CD

Dodatek: Jedničky a nuly jsou na CD ukládány do spirály, která začíná u středu a postupuje ke krajům. Délka spirály je přibližně 6 km. Pro ukládání dat se používají pity (prohlubně široké 500 nm a hluboké 100 nm). Jednička je reprezentována změnou z prohlubně do roviny nebo naopak, nula je reprezentována tím, že buď je stále prohlubeň nebo stále rovina.

Jak se projevují vlastnosti digitálního přístupu?

Technická složitost – celá technologie je maximum technicky možného na konci 70-tých let. Je nemyslitelné udělat doma bez nákupu součástek zařízení, které přečte za sekundu milion nul a jedniček a je schopné sledovat spirálu o šířce miliontiny metru.

Zachycení zvuku – 44100 měření zvuku za sekundu se zdá hodně, ale lidské ucho vnímá frekvence od 20 Hz do 20 kHz \Rightarrow nejvyšší frekvence, které lidské ucho slyší jsou zachycené pomocí pouze dvou bodů z periodu \Rightarrow na kvalitní aparatuře hrají CD disky hůř než gramodesky (chybí tam vysoké frekvence, které „dělají“ barvu zvuku), tento rozdíl v kvalitě nejde odstranit lepším přehrávačem, protože na CD je o těchto frekvencích málo informací, vyšší frekvence by znamenala více čísel, které se na CD už nevejdou, zvolené hodnoty jsou kompromisem mezi kvalitou a délkou nahrávky

kvalita záznamu se nezhoršuje – pokud CD nepoškrábeme tak, že nejsou přečíst jedničky a nuly hraje pořád stejně

možnost kopírování – pokud zkopírujeme všechny jedničky a nuly správně (což býval trochu problém, protože na CD chybí více čísel, které by umožňovaly kontrolu správnosti čtení), získávám naprosto rovnocenný záznam s originálem

Pedagogická poznámka: Hodina skýtá hodně příležitostí pro „mezipředmětové vztahy“. Já osobně zmiňuji kopírování kazet v osmdesátých letech, kdy nebylo možné v komunistickém Československu koupit zahraniční a část české hudby v obchodech. Další možnosti je diskuse o danajském přínosu CD pro nahrávací společnosti. Kvůli zhoršování kvality nebylo kopírování desek na kazety pro vydavatelské společnosti velkým problémem (pokud jste chtěli slyšet nahrávku kvalitně museli jste si ji koupit, i Vaše koupené nahrávky se časem znehodnotily a bylo třeba je kupovat znova). V současnosti kopírování digitální hudby bez ztráty kvality přímo ohrožuje jejich existenci.

Dříve byly všechny technologie analogové, od počátku 80-tých let nastupují digitální v budoucnu budou zřejmě používány pouze digitální.

Detekce chyb

Při zápisu dat potřebujeme kontrolu, zda jsme neudělali chybu.

Původní data	Do prázdného místa na konci řádku zapíšeme kontrolní jedničku, pokud řádek obsahuje lichý počet jedniček, nebo kontrolní nulu, pokud řádek	V pravém horním dolním rohu doplníme kontrolní hodnotu kontrolních hodnot. Pokud jsme kontrolní sloupec i kontrolní řádku vyplnili správně, musíme
--------------	--	--

	obsahuje sudý počet jedniček. To samé uděláme s volnými místy na konci sloupců.	oběma způsoby získat stejné číslo.																																																																																																												
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	1	0	0	1	1		0	0	1	1	0		1	1	0	1	1		1	0	0	1	0		0	1	1	0	0								<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td></tr> </table>	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0		<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1																																																																																																										
0	0	1	1	0																																																																																																										
1	1	0	1	1																																																																																																										
1	0	0	1	0																																																																																																										
0	1	1	0	0																																																																																																										
1	0	0	1	1	1																																																																																																									
0	0	1	1	0	1																																																																																																									
1	1	0	1	1	1																																																																																																									
1	0	0	1	0	1																																																																																																									
0	1	1	0	0	1																																																																																																									
1	0	0	0	0																																																																																																										
1	0	0	1	1	1																																																																																																									
0	0	1	1	0	1																																																																																																									
1	1	0	1	1	1																																																																																																									
1	0	0	1	0	1																																																																																																									
0	1	1	0	0	1																																																																																																									
1	0	0	0	0	1																																																																																																									

Takto připravená data přeneseme.

Přenesená data s jednou chybou (zelené číslo).	Kontrolujeme, zda vychází kontrolní čísla. Zjistíme že v druhém řádku a třetím sloupci hodnoty nevycházejí. Je zřejmé, že hodnota na druhém řádku třetím sloupci je špatná.	Hodnotu můžeme opravit.																																																																																																												
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	1																																																																																																									
0	0	0	1	0	1																																																																																																									
1	1	0	1	1	1																																																																																																									
1	0	0	1	0	1																																																																																																									
0	1	1	0	0	1																																																																																																									
1	0	0	0	0	1																																																																																																									
1	0	0	1	1	1																																																																																																									
0	0	0	1	0	1																																																																																																									
1	1	0	1	1	1																																																																																																									
1	0	0	1	0	1																																																																																																									
0	1	1	0	0	1																																																																																																									
1	0	0	0	0	1																																																																																																									
1	0	0	1	1	1																																																																																																									
0	0	1	1	0	1																																																																																																									
1	1	0	1	1	1																																																																																																									
1	0	0	1	0	1																																																																																																									
0	1	1	0	0	1																																																																																																									
1	0	0	0	0	1																																																																																																									

Stejným způsobem poznáme i chybu v kontrolních číslech. Pokud dojde během přenosu k více než jedné chybě poznáme, že je něco špatně, ale nemusíme být schopni chybu opravit.

Kompresce

- snaha zmenšit počet čísel, která musím ukládat (například tím, že opakující se posloupnosti čísel nahradím jedním číslem, u obrazu uvádím hodnoty pouze v místech, kde se změnilo...)

bezeztrátová – je možné vrátit se k původním číslům (FLAC, ZIP, TIFF...)

ztrátová – čísla si upravím tak, aby to člověk pokud možno nepoznal, ale množství čísel se dalo

hodně zmenšit – MP3 (míra úpravy odpovídá bitrate), JPEG

Shrnutí: Digitální technologie používá zápis údajů pomocí čísel, analogová zachytí signál nápodobou.