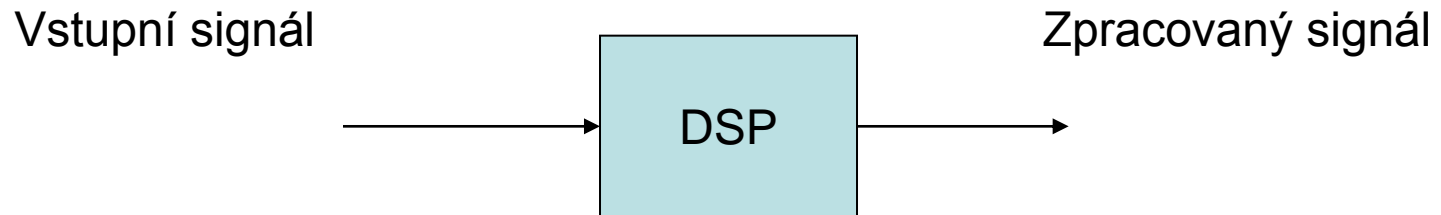


Analýza a zpracování signálů

1. Úvod

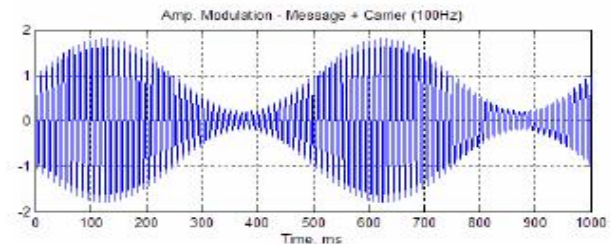
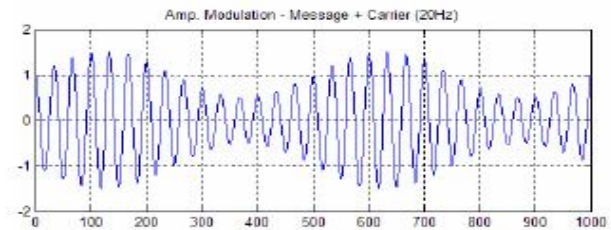
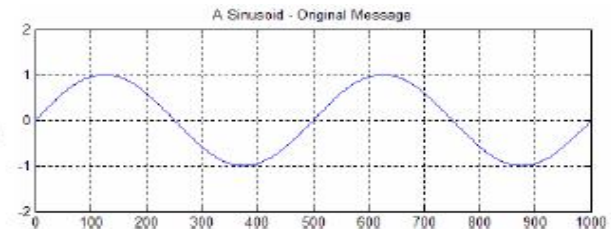
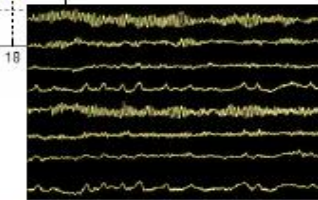
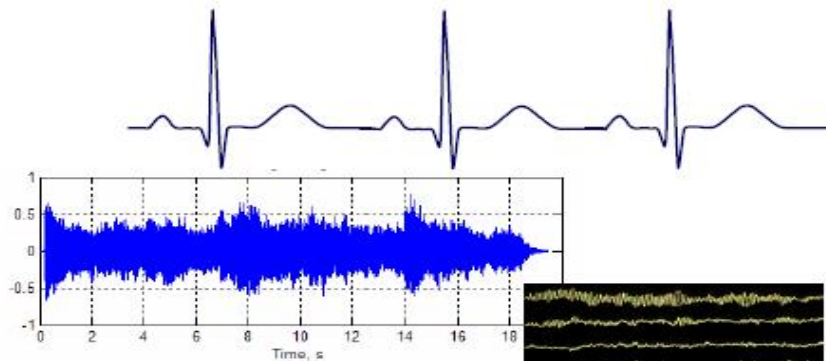
- **DSP** – matematická a algoritmická manipulace s číslicovými signály
jejímž cílem je extrahovat důležité informace, které jsou přenášeny signálem



- co je signál ?
- co je systém ?
- co je zpracování

Signály

- Signál – fyzikální veličina, která přenáší nějakou zprávu. Zpráva může obsahovat určité množství informace (kolik informace obsahuje, to závisí to na příjemci)
- Signál může být reprezentován popisem závislosti jednoho parametru (závislá proměnná) na parametru jiném (nezávislá proměnná). Nečastěji je jako nezávislá proměnná čas, může to být ale cokoliv jiného).



Zajímavé souvislosti vztažené k pojmu signál:

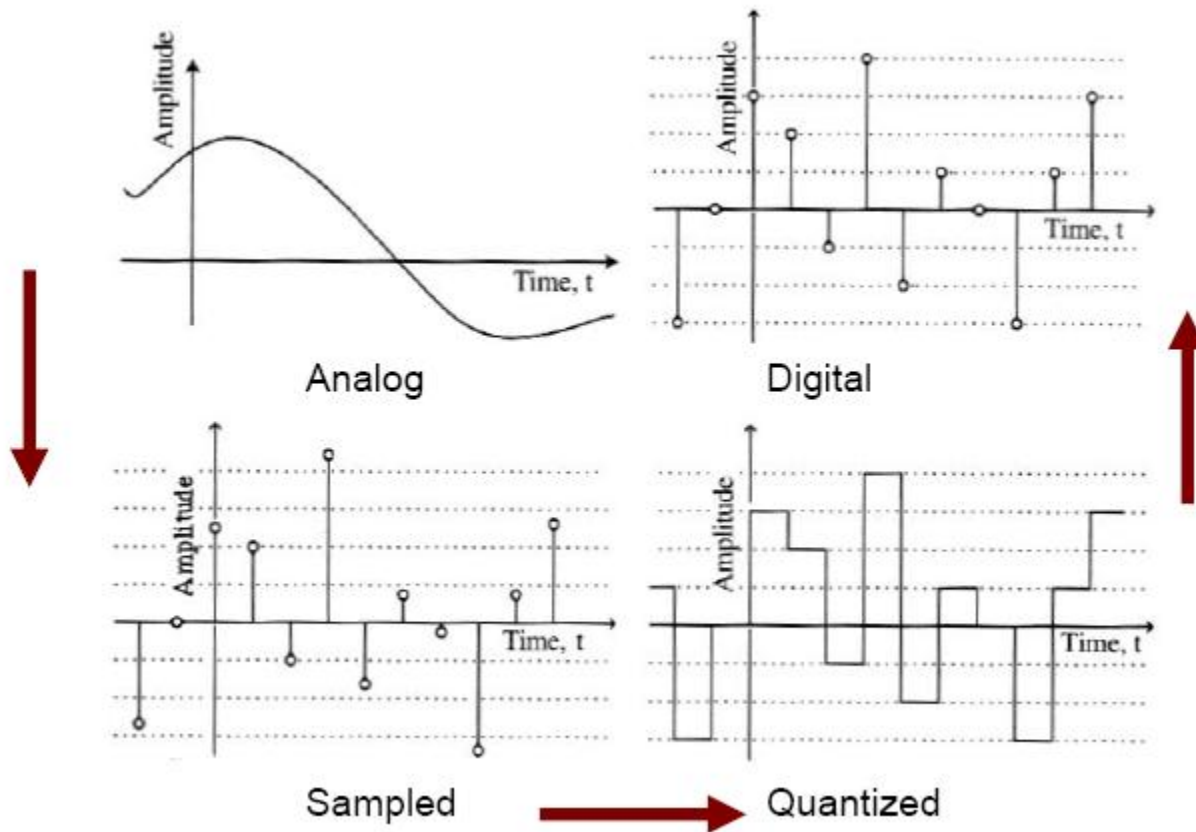
- signály, tedy fyzikální veličiny často v průběhu přenosu zprávy mění svoji formu
- jeden a tentýž signál může u různých příjemců vyvolat různou reakci
- maximum informace nese zpráva, přenášená signálem, tehdy, když příjemce předem neví co bude zpráva obsahovat
- zprávu a informaci můžeme obdržet sledováním vybraných parametrů signálu
- signály využíváme zejména ke zjištění stavu různých systémů (živých i neživých)

Modely signálů:

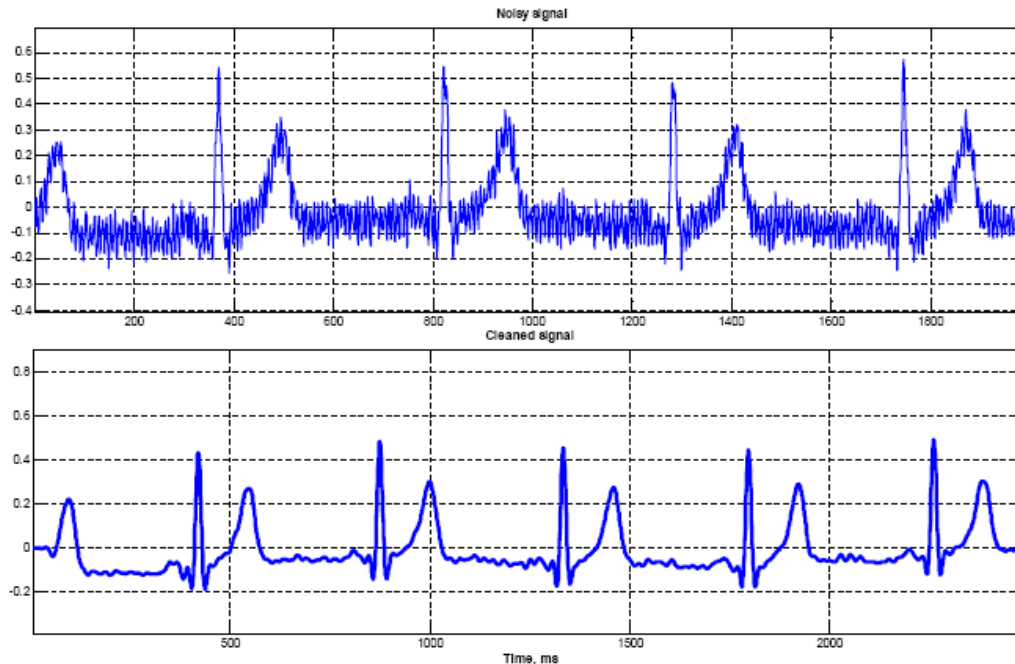
- používáme vždy, když se pokoušíme popsat něco, co je reálné
- model představuje popis reality zjednodušenými prostředky (řadou čísel, matematickou funkcí, časovým průběhem apod.)
- cílem modelování je vytvořit takový popis reality, který je v daném čase a z hlediska potřeb a cílů dostatečný
- Signálový model může být jednoduchý nebo složitý, neexistuje univerzální a dokonalý model, výběr modelu se řídí účelem, ke kterému jej chceme použít

- **Typy signálů:**
 - Skalární vs. vektorové signály
 - Signál z výstupu měřiče krevního tlaku - 128 kanálový EEG signál
 - Deterministický vs. náhodný signál
 - Audio signál – šum,
 - Výstup z generátoru signálů – EEG signál
 - Jednorozměrný signál vs. vícerozměrný signál
 - Řečový signál – obrázek
 - Spojitý signál vs. diskrétní signál
 - Signál spojitý v čase i amplitudě : analogový signál
 - Signál spojitý v čase a diskrétní v amplitudě : kvantizovaný signál
 - Signál diskrétní v čase a spojitý v amplitudě : vzorkovaný signál
 - Signál diskrétní v čase i amplitudě : digitální signál
- **Signály, se kterými se setkáváme v běžném životě jsou obvykle spojitě v čase i amplitudě – tzv. analogové signály**
 - Elektrické signály: elektrické napětí, proud, elektrická a magnetická pole
 - Mechanické signály: momenty, úhly, úhlové rychlosti,
 - Akustické signály: vibrace, zvukové vlny
 - Fyzikální signály: tlaky, teploty, koncentrace
- **DSP systémy zpracovávají signály které jsou vzorkované, popř. kvantované**

- **DSP systémy zpracovávají signály které jsou vzorkované, popř. kvantované**



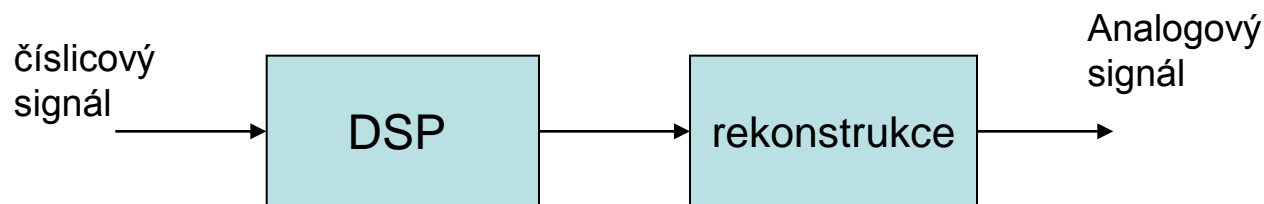
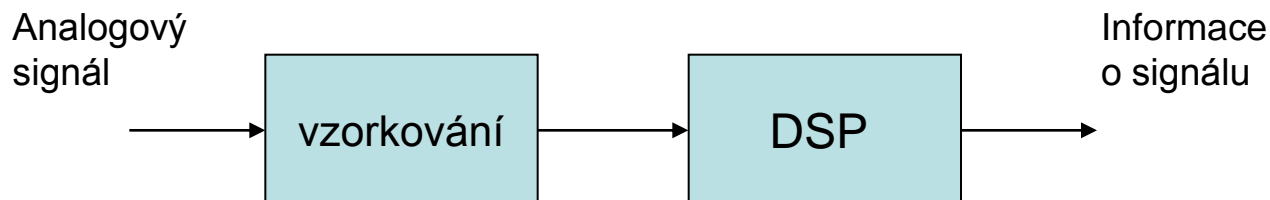
- Každý signál přenáší **informaci** . Ne každá informace je však užitečná pro koncového uživatele. Cílem zpracování signálů je extrahovat „užitečnou“ informaci ze vstupního signálu
- Signál, který není užitečný je označován jako **šum**. Co budeme označovat jako šum závisí na dané aplikaci.
 - Posloucháme-li rozhovor dvou lidí a zajímá-li nás o čem se baví, pak je šumem rozhovor dalších osob
 - Při vyšetřování evokovaných potenciálů, mohou být jako šum považovány jednak artefakty (oči, svaly), ale také vlastní EEG záznam
 - Častým zdrojem šumu bývá síťové napětí (50Hz, popř. 60Hz)



System

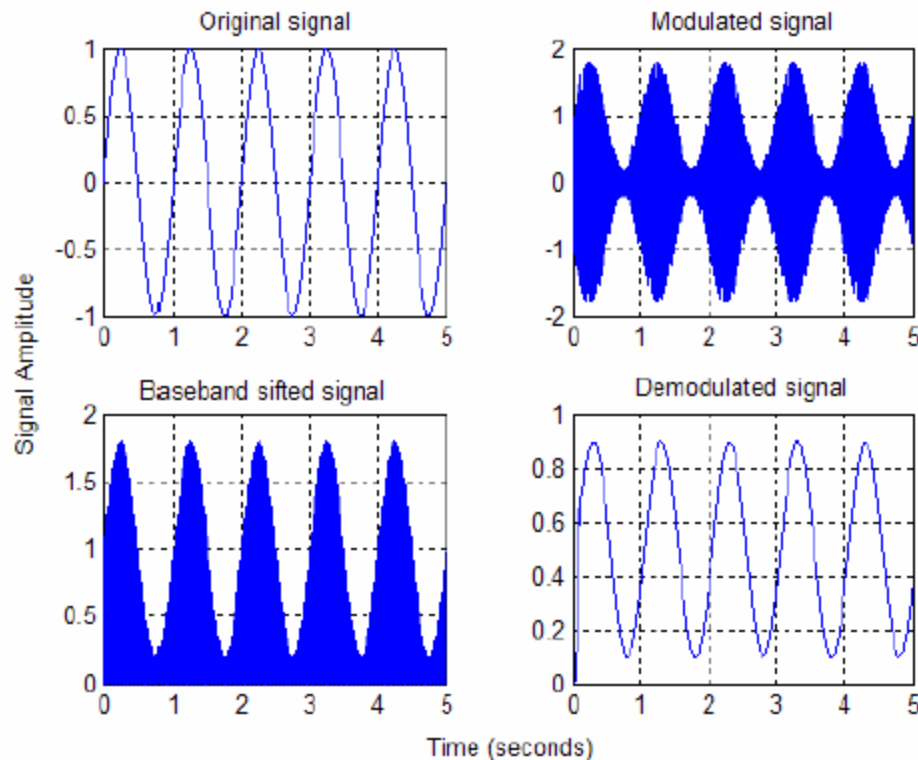
- **System** – pravidlo, přiřazující signálu x jiný signál y . V technice se obvykle pod pojmem "system" rozumí fyzikální (obvodová realizace) tohoto pravidla.
- Typy systémů
 - Podle typu zpracovávaného signálu
 - Analogové
 - Číslicové
 - Podle typu závislosti mezi vstupním a výstupním signálem
 - Lineární
 - Lineární časově invariantní systémy
 - nelineární

Základní DSP systémy



Příklady systémů pro zpracování signálů

- Komunikační technika - Modulace/demodulace signálů



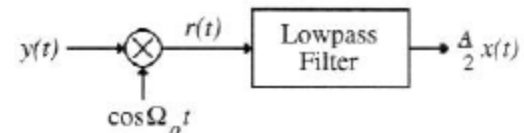
$$y(t) = A[1 + mx(t)] \cdot \cos(\Omega_0 t)$$

$$r(t) = y(t) \cdot \cos(\Omega_0 t)$$

$$\tilde{x}(t) = LPF(r(t))$$



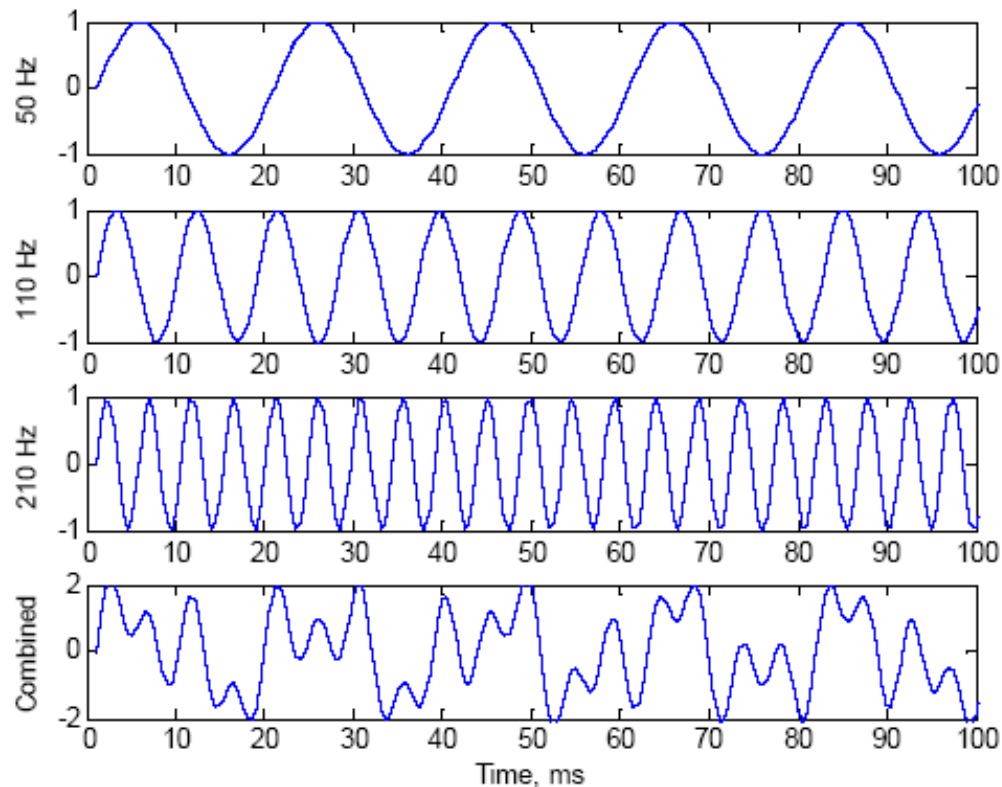
$$A[1 + m \cdot x(t)] \cdot \cos \Omega_0 t$$



Příklady systémů pro zpracování signálů

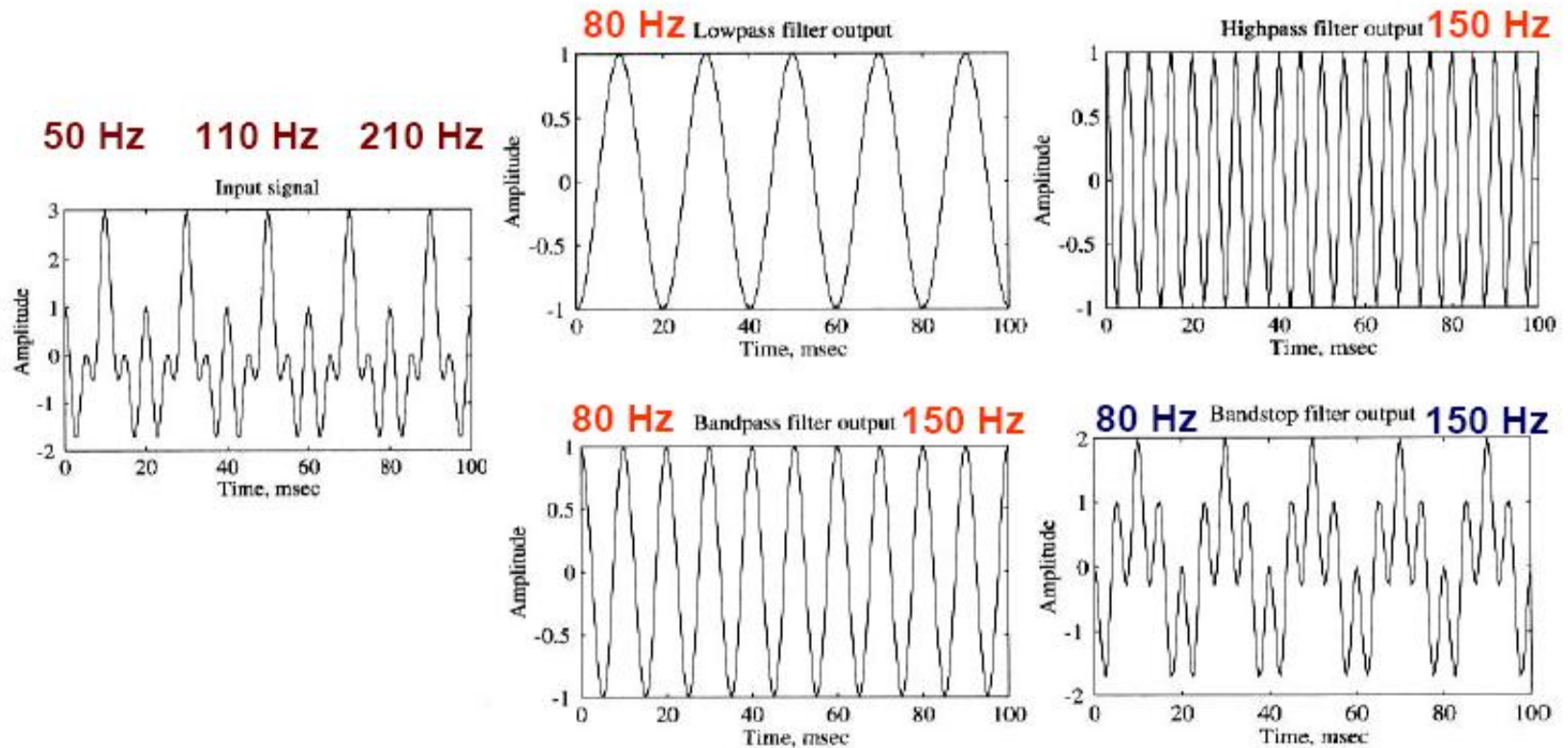
- Filtrace – nejčastěji používaná operace v DSP, cílem filtrace je :
 - změna frekvenčního obsahu signálu např. odstraněním některých rušivých frekvencí
 - odstranění šumu v signálu
 - výběr pouze určitých frekvencí, které přenáší informaci
- Obvykle se se používají následující typy filtrů:
 - Dolní propust (Lowpass LPF) – odstraňuje vysoké frekvence ze signálu
 - Horní propust (Highpass HPF) – odstraňuje nízké frekvence ze signálu
 - Pásmová propust (Bandpass BPF) – propouští frekvence z určitého frekvenčního pásma
 - Pásmová zadrž (Bandstop BSF) – zadržuje frekvence určitého frekvenčního pásma
 - Notch filter -odstraňuje specifickou frekvenci

Příklad filtrace signálů

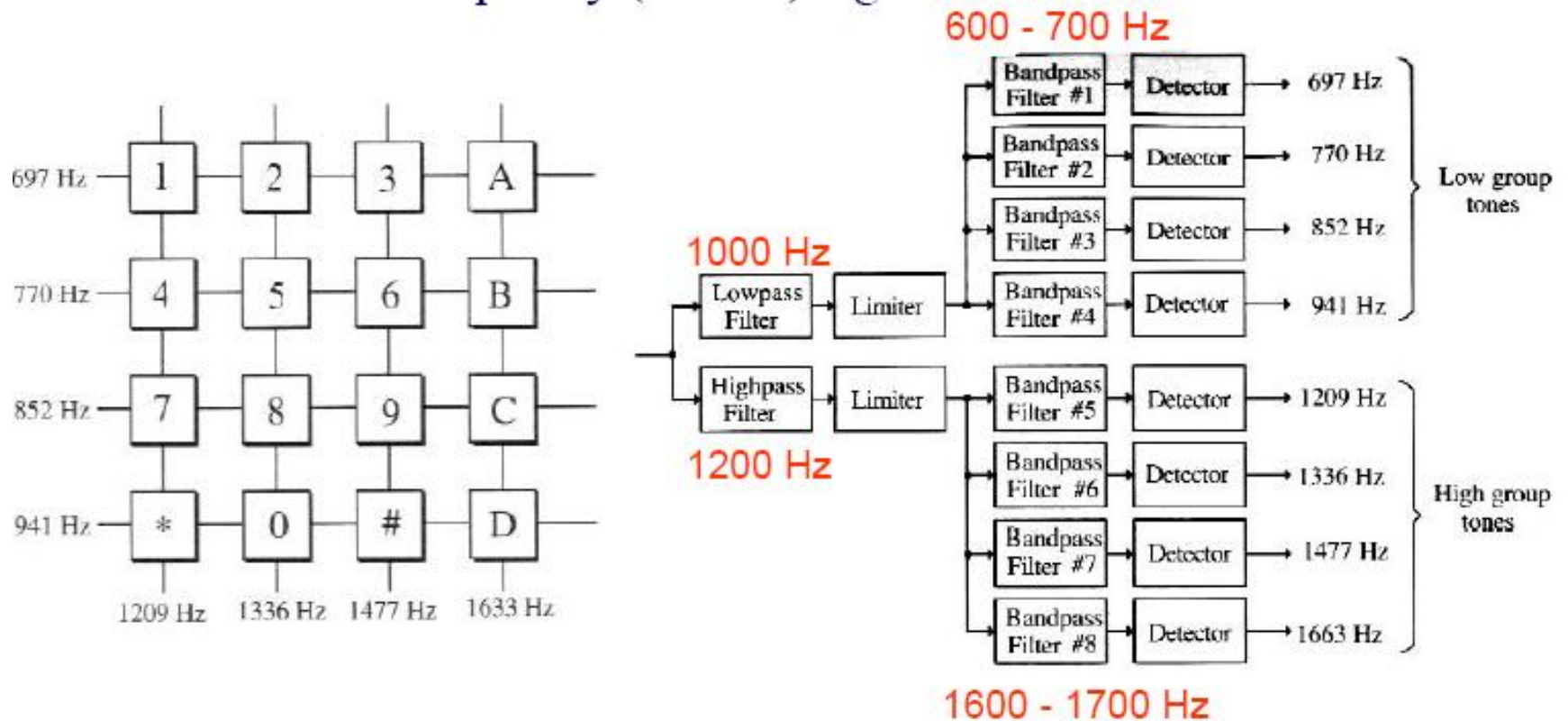


```
t=0:0.001:0.1;  
x1=sin(2*pi*5*t);  
t=0:0.0005:0.1;  
x1=sin(2*pi*50*t);  
T=1:0.5:101;  
plot(T, x1)  
axis([0 100 -1 1])  
ylabel('50 Hz')  
subplot(4,1,2)  
x2=sin(2*pi*110*t);  
plot(T, x2)  
axis([0 100 -1 1])  
ylabel('110 Hz')  
subplot(4,1,3)  
x3=sin(2*pi*210*t);  
plot(T, x3)  
axis([0 100 -1 1])  
ylabel('210 Hz')  
y=x1+x2+x3;  
subplot(4,1,4)  
plot(T, y)  
axis([0 100 -2 2])  
ylabel('Combined')  
xlabel('Time, ms')
```

Příklad filtrace signálů



Tónová volba



Zpracování signálů

- Zpracování signálů je závislé na aplikační oblasti
 - Letectví a kosmonautika
 - Navigační systémy
 - Úprava vesmírných fotografií
 - Řízení vesmírných sond
 - Medicína
 - Medicínská diagnostika (CT, MRI, ultrazvuk, atd.)
 - EEG/EKG analýza
 - uložení a zpracování medicínských dat a snímků
 - Komerce
 - Komprese zvuku, obrázků a videa pro multimediální prezentace
 - Speciální videoefekty
 - Videokonference
 - Telefonie
 - Komprese dat a hlasu
 - Redukce echa
 - Multiplex signálů
 - filtrace

Zpracování signálů

- Armáda
 - Analýza signálů radaru a sonaru
 - Navigační systémy raket
- Průmysl
 - Trídění, počítání výrobků
 - Tribodiagnostika
 - Řízení technologických procesů
- Věda
 - Simulace, modelování
 - Analýza a monitorování zemětřesení
 - Analýza snímků meteorologických družic

Klasifikace metod zpracování signálů

1. podle linearity

- Lineární (platí princip superpozice) – lze je matematicky poměrně snadno modelovat a analyzovat
- Nelineární – nelze je matematicky dobře charakterizovat a analyzovat, jsou používány zřídka

2. podle setrvačnosti

- Systémy bez paměti – využívají pouze okamžité hodnoty vstupů (funkční měniče, korektory nelinearit)
- Systémy s pamětí – obsahují zpožďovací členy (paměťové registry)
 - Nerekurzivní využívají pro výpočet výstupu jen vstupních hodnot (i zpožděných) – FIR filtry
 - Rekurzivní využívají pro výpočet výstupu jak vstupních hodnot, tak zpožděných výstupních hodnot – IIR filtry

3. Podle počtu proměnných

- Jednorozměrné – pracují se signály, záviselými pouze na jediné proměnné (nejčastěji čase)
- Vícerozměrné - pracují se signály, záviselými na dvou nebo více proměnných

4. Podle proměnnosti realizovaného operátoru v čase

- Invariantní v čase (běžné typy zpracování)
- Proměnné v čase (adaptivní filtrace)

5. Podle typu realizace

- Číslicové – vzorky jsou reprezentovány čísly, zpravidla binárně kódovanými
- Diskrétní analogové – vzorky jsou reprezentovány analogovými veličinami, výpočet v čase je diskrétní

Výhody a nevýhody číslicového zpracování

- Omezení číslicových metod
 - Omezení zpracovávaného rozsahu kmitočtu – číslicové zpracování je vhodné pro nižší frekvenční pásma – převodníky pro vyšší frekvence jsou obvykle drahé. Použitelnost dsp řádově do stovek MHz
 - Dochází k degradaci signálu vlivem A/D převodu
 - Cena zařízení
- Výhody
 - Pružnost zpracování – charakteristiky číslicového systému jsou dány konstantami, které lze snadno měnit (popř. lze změnit program)
 - Časová stálost – vlastnost systému je daná konstantami a programem – pokud systém funguje nemůže dojít ke změně charakteristik např. vlivem teploty popř. okolního prostředí, číslicové zpracování je dokonale reprodukovatelné
 - Časově neomezená paměť – možnost zpracovávat i pomalé signály, číslicové prvky jsou v tomto případě spolehlivější a jednodušší než objemné a nákladné analogové systémy
 - Odpadají problémy vzájemného ovlivňování soustav – impedanční přizpůsobení, vliv elmag. pole atd.
 - Možnost spolehlivé realizace komplikovaných systémů
 - Slučitelnost s informačními systémy
 - Možnost multiplexního provozu - u výkonných systémů lze zároveň zpracovávat více než jeden signál

Obsah předmětu AZS

1. Úvod,
2. Analogové a diskrétní signály, vlastnosti signálu, základní rozdělení signálů, vzorkování, kvantizace, rekonstrukce signálů. Číselné řady a jejich vlastnosti, základní operace
3. Analýza signálů v časové oblasti, diskrétní systémy a jejich rozdělení, linearita a časová invariance, LTI systémy, popis, impulsní odezva systémů
4. Konvoluce, korelace, periodická konvoluce a korelace, metody výpočtu, příklady
5. Náhodné signály, základní charakteristiky a popis
6. Z-transformace, použití, vlastnosti, oboustranná a jednostranná transformace, přenosová funkce systému, paralelní a kaskádní spojení systémů, výpočet přenosové funkce, analýza systémů s využitím Z-transformace
7. Analýza systémů ve frekvenční oblasti, DTFT, vlastnosti, vztah mezi DTFT a Z-transformací, spektrum reálného signálu.
8. DFT, FFT, spektrální analýza signálů, metoda spektrálního odhadu
9. Filtry – základní vlastnosti, frekvenční odezva a charakteristika filtrů, amplitudová a fázová charakteristika, základní typy filtrů, filtry s lineární fází.
10. Číslicová filtrace I: FIR filtry, vlastnosti a metody návrhu.
11. Číslicová filtrace II: IIR filtry, vlastnosti a metody návrhu.
12. Časově-frekvenční analýza (STFT, vlnková transformace, matching pursuit)

Literatura

Základní:

Ashok Ambardar : *Digital Signal Processing. A Modern Introduction* , Thomson Learning, 2006

Edmund Lai: Practical Digital Signal Processing for Engineers and Technicians, Elsevier, 2004

Li Tan: Digital Signal Processing (Fundamentals and Applications), Elsevier, 2008

Robert J Schilling, Sandra L. Harris: Fundamentals of Digital Signal Processing using Matlab, Centage Learning 2012

Doporučená:

S.W. Smith: *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing 1999

Sanjit K. Mitra , *Digital Signal Processing. A Computer-Based Approach* , McGraw-Hill 2002

Jiří Jan: *Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálů*, Vutium 2002

Orfanidis, Sophocles J.: *Introduction to signal processing*, Upper Saddle River : Prentice Hall 1996

Davídek V. Sovka P: *Číslicové zpracování signálů a implementace*, Praha : ČVUT 1996