

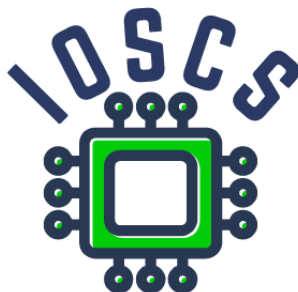
Project: Innovative Open Source Courses for Computer Science

Zpracování bezdrátových signálů v prostředí GNU Radio Prezentace

**Wojciech Sałabun
West Pomeranian University of Technology in Szczecin**

30.05.2021

Innovative Open Source Courses for Computer Science



This teaching material was written as one of the outputs of the project “Innovative Open Source Courses for Computer Science”, funded by the Erasmus+ grant no. 2019-1-PL01-KA203-065564. The project is coordinated by West Pomeranian University of Technology in Szczecin (Poland) and is implemented in partnership with Mendel University in Brno (Czech Republic) and University of Žilina (Slovak Republic). The project implementation timeline is September 2019 to December 2022.

Project information

Project was implemented under the Erasmus+.

Project name: **“Innovative Open Source courses for Computer Science curriculum”**

Project nr: **2019-1-PL01-KA203-065564**

Key Action: **KA2 – Cooperation for innovation and the exchange of good practices**

Action Type: **KA203 – Strategic Partnerships for higher education**

Consortium

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNE

ZILINSKA UNIVERZITA V ZILINE

Erasmus+ Disclaimer

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Copyright Notice

This content was created by the IOSCS consortium: 2019–2022. The content is Copyrighted and distributed under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Úvod do bezdrátových systémů

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Přenos dat

Komunikační cesta

Rádiové vlny

- Vlastnosti rádiových vln

- Aplikace rádiových vln

Výhody a nevýhody bezdrátové komunikace

Bluetooth

Základní definice

Signal

Signál lze reprezentovat ve dvou oblastech

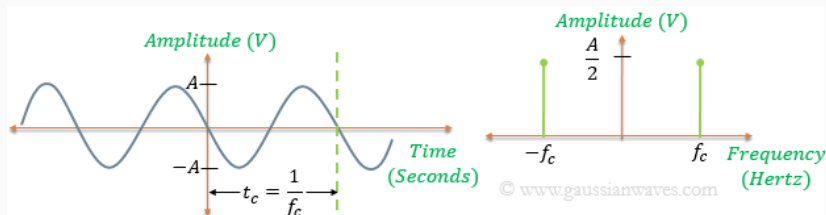
- Časová doména

$$f(t) = A \sin(\omega t + \theta) \quad (1)$$

- Frekvenční doména

$$x(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \quad (2)$$

Základní definice ii



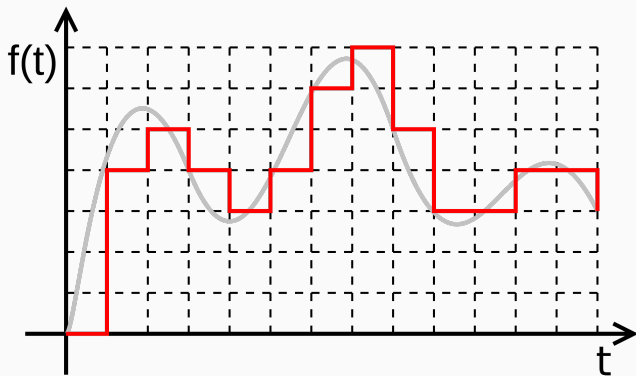
Obrázek 1: Signál ve frekvenční oblasti [5].

- **Zdroj** - generuje zprávu, kterou může být lidský hlas, televizní obraz nebo zvuk z reproduktorů. Zdroj je vstupním snímačem převeden na elektromagnetické vlnění, které se nazývá signál základního pásma nebo informační signál.
- **Vysílač** - upravuje signál základního pásma pro efektivní přenos. Obvykle se skládá z jednoho nebo více subsystémů: vzorkovače, kvantizeru, kodéru a modulátoru.

- **Kanál** - je médium, kterým je přenášen výstupní signál z vysílače. Může to být drát, koaxiální kabel, optické vlákno, rádiové spojení atd. Podle typu kanálu se moderní komunikační systémy dělí do dvou kategorií: drátové komunikační systémy a bezdrátové komunikační systémy.
- **Přijemce** - znovu zpracuje signál přijatý z kanálu tak, že zruší úpravy signálu provedené ve vysílači a kanálu. Úkolem přijímače je získat zprávu ze zkresleného a zašuměného signálu na výstupu kanálu. Přijímač se může skládat z demodulátoru, dekodéru nebo filtru.

Zprávy lze reprezentovat jako

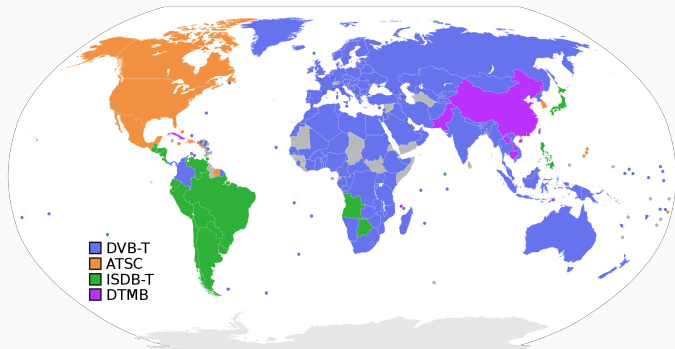
- **Analogové** - jsou charakterizovány údaji, jejichž hodnoty se mění v souvislém rozsahu. Například průběh řeči má amplitudu, která se mění ve spojitém rozsahu. Obrázek je také analogová zpráva.
- **Digital** - se skládají z omezeného počtu symbolů. Například textový soubor je digitální zpráva sestavená z 80 symbolů, které se skládají z 26 písmen, 20 číslic, mezer a interpunkčních znamének. Podobně telegrafická Morseova abeceda je binární zpráva, která obsahuje pouze dva symboly - znaky a mezeru.



Obrázek 2: Digitální a analogové signály [4].

- **Přenos** - proces odesílání dat mezi vysílačem a přijímačem pomocí specifické metody, které rozumí obě strany. Navíc se řídí zavedenou trasou - v tomto případě přenosovým médiem.
- **Přenosové médium** - médium používané k přenosu signálů v telekomunikacích. Parametry použitého média ovlivňují jeho možnosti a použití. Dvě hlavní skupiny jsou kabelová a bezdrátová média.

- **Telekomunikace** - obor zabývající se přenosem informací na dálku, určující způsoby zpracování a kódování informací. Zahrnuje také problematiku telekomunikačních sítí, šíření rádiových vln nebo telekomunikačních zařízení.



Obrázek 3: Typy televizních telekomunikací používané ve světě [6].

Přenos dat

- Komunikační kanál umožňuje přenos dat mezi dvěma účastníky nastaveného spojení.
- Dělení média podle typu použitého přenosu:
 - Drátové - založené na řešeních využívajících optické kabely nebo měděné vodiče.
 - Bezdrátový - k přenosu používá rádiové nebo světelné vlny

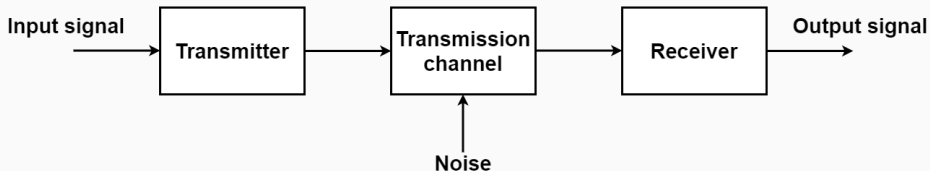
- Přenos lze rozdělit podle povahy přenosu dat:
 - Simplex - v jednom směru
 - Half-duplex - obousměrný nesimultánní přenos
 - Full-duplex - simultánní obousměrný přenos

Komunikační cesta

- Provoz přenosové soustavy probíhá tak, že:
 - Vysílač - na straně odesílatele, zodpovědný za kódování, modulaci, zesílení signálu.
 - Fyzický přenosový kanál
 - Přijímač - na straně příjemce, který je zodpovědný za zesílení, demulaci a dekódování signálu pro reprodukci původní zprávy.
- Všimněte si, že během přenosu signálu je zpráva náchylná na rušení z vnějšího prostředí, které ovlivňuje zkreslení (šum, rušení).

Komunikační cesta ii

Zjednodušené schéma komunikační cesty se zohledněním prvků přítomných při přenosu dat.



Obrázek 4: Schéma komunikační cesty.

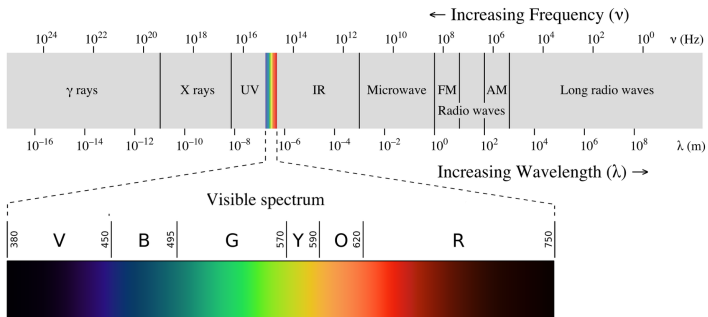
Rádiové vlny

- **Rádiové vlny** – jinak známé jako elektromagnetické vlny - tento jev spočívá v šíření poruch elektrického pole a souvisejícího magnetického pole.
- Výskyt rádiových vln lze pozorovat ve vakuu nebo v jiném prostředí.

Typ	Délka	Frekvence
Rádiové vlny	30 km	10 kHz
Mikrovlnné trouby	30 cm	1 GHz
Infračervený	1 mm	300 GHz
Viditelné světlo	750 nm	400 THz
Ultrafialové světlo	430 nm	700 THz
Rentgen	10 nm	30 PHz
Gamma	10 pm	30 EHz

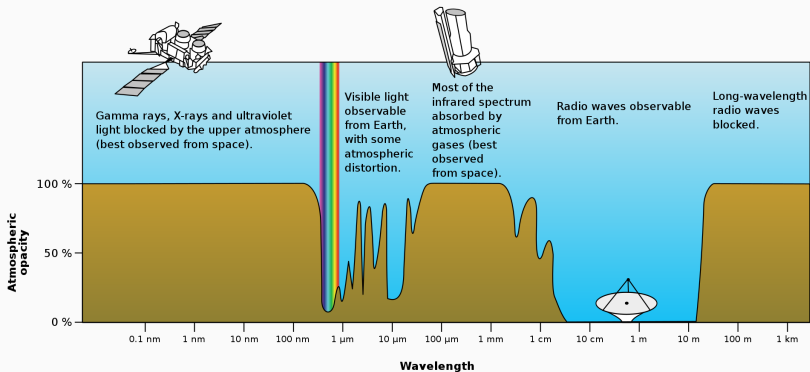
Tabulka 1: Frekvence elektromagnetických vln

Rádiové vlny iii



Obrázek 5: Elektromagnetické spektrum viditelného světla [7].

Rádiové vlny iv



Obrázek 6: Diagram absorpce a rozptylu vln [7].

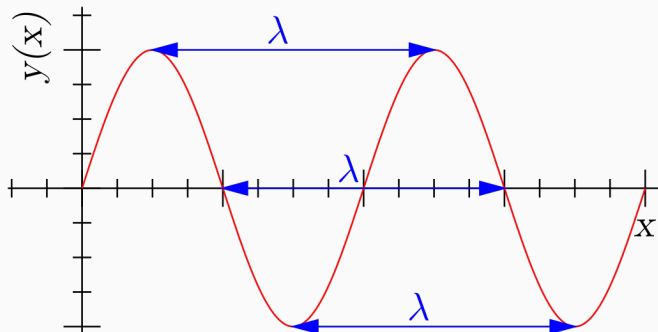
Vlastnosti rádiových vln i

- **Vlnová délka** - je minimální vzdálenost mezi dvěma body stejné fáze kmitání.

$$\lambda = c \cdot T \quad (3)$$

- kde
 - λ - vlnová délka [m].
 - c - rychlost světla ($299\,792\,458 \text{ fracms}$)
 - T - perioda vlny [s].

Vlastnosti rádiových vln ii



Obrázek 7: Vlnová délka [1].

- **Vlnová frekvence** - určuje počet úplných změn elektrického a magnetického pole za sekundu, vyjadřuje se v hertzích.

$$f = \frac{1}{T} \quad (4)$$

- kde
 - f - frekvence [Hz].
 - T - perioda vlny [s].

- **Perioda změny vlny** - doba potřebná k návratu stejné fáze vlny.

$$T = \frac{1}{f} \quad (5)$$

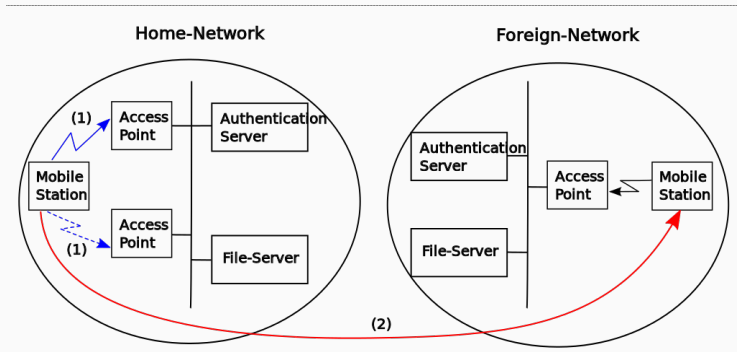
- kde
 - T - perioda vlny [s].
 - f - frekvence [Hz].

- Elektromagnetické vlny
 - Ultrafialové záření
 - Infrared
 - Viditelné světlo
 - Rádiové frekvence.
- Zvukové vlny
- Satelitní signály
- Bezdrátová komunikace ve frekvenčním rozsahu od 3 Hz do 3 THz

Přenos pomocí rádiových vln:

- Vestavěné systémy
 - Rozptýlené
 - Soubor nezávislých zařízení spojených do jednoho logického celku.
 - Nejběžnějšími síťovými prvky jsou počítače a automatizační systémy.
 - Zařízení vybavená softwarem, který sdílí systémové prostředky.
 - Propojení mezi zařízeními prostřednictvím počítačových sítí
 - Dálkově ovládané
 - RC systémy - Dálkové ovládání
 - Provoz je založen na ovládání jednotky z fyzicky vzdáleného místa.
 - Řídicí jednotka a pohon s vysílačem a přijímačem
 - Často se používá pro hračky, drony, fotoaparáty atd.

- Mobilní telefonie GSM
- Bezdrátová místní síť (WLAN)
- Bezdrátová komunikace na krátkou vzdálenost
- WWAN (Wireless Wide Area Network) - dosah od 100 metrů do několika kilometrů



Obrázek 8: Přenos signálu v sítích WLAN [3].

Typy používaných frekvencí

- Mikrovlnné trouby > 300 MHz
- Ultrakrátké $30 - 300$ MHz
- Krátké $3 - 30$ MHz
- Nepřímý $1.5 - 3$ MHz
- Průměry $100 - 1500$ kHz
- Dlouhé $15 - 100$ kHz
- Velmi dlouhá < 15 kHz

Šířka pásma	Frekvence	Vlnová délka
ELF	3 - 30 Hz	100,000 - 10,00 km
SLF	30 - 300 Hz	10,000 - 1,000 km
ULF	0.3 - 3 kHz	1,000 - 100 km
VLf	3 - 30 kHz	100 - 10 km
LF	30 - 300 kHz	10 - 1 km
MF	300 - 3000 kHz	1000 - 100 m

Tabulka 2: Závislost na frekvenci

Šířka pásma	Frekvence	Vlnová délka
HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m
VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m
UHF	300 - 3000 MHz	100 - 10 cm
SHF	3 - 30 GHz	10 - 1 cm
EHF	30 - 300 GHz	10 - 1 mm
THF	0,3 - 3 THz	1 - 0.1 mm

Tabulka 3: Závislost na frekvenci

Pásmo **2,4 GHz** je využíváno mnoha zařízeními, je to jedna z nejoblíbenějších frekvencí.

- Standard Bluetooth
- Sítě Wi-Fi
- Mikrovlnné trouby
- Videokamery
- Monitorovací zařízení
- Bezdrátové telefony

Výhody a nevýhody bezdrátové komunikace

Výhody a nevýhody bezdrátové komunikace i

Nevýhody:

- Omezení šířky pásma z důvodu šířky pásma
- Náchylnost k rušení
- Závislost na počasí
- Zabezpečení.
- Používaná šířka pásma je často sdílená.

Výhody:

- Flexibilita
- Mobilita
- No fyzické přenosové médium drát

Bluetooth

Infračervený

- Norma se vztahuje na přenos dat na vzdálenost < 1 metr.
- Tři typy přenosu
 - AIR – umožňuje víceuživatelské připojení, přenosová rychlost závisí na vzdálenosti přenášených dat.
 - IrDA-D standard - používá se pro přenos dat, dostupné rychlosti od 115 kb/s do 4 Mb/s
 - IrDA-C - obousměrný, umožňuje přenos řídicích příkazů a signálů, používá se v periferních zařízeních.

Bluetooth

- Umožňuje bezdrátové připojení periferních zařízení k mobilním telefonům a počítačům.
- Technologie určená především pro komunikaci na krátkou vzdálenost
- Nízké výrobní náklady
- A standard popsany ve specifikaci IEEE 802.15.1.
- Využívá rádiové vlny ve frekvenčním pásmu ISM 2,4 GHz

Zdroje

- 1 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength>
- 2 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Oscillation>
- 3 - https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
- 4 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Sygna%C5%82_cyfrowy
- 5 - <https://www.gaussianwaves.com/2013/12/computation-of-power-of-a-signal-in-matlab-simulation-and-verification/>
- 6 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunication>
- 7 - https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Šíření rádiových vln a anténní techniky

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Šíření rádiových vln

Průvodní jevy šíření rádiových vln

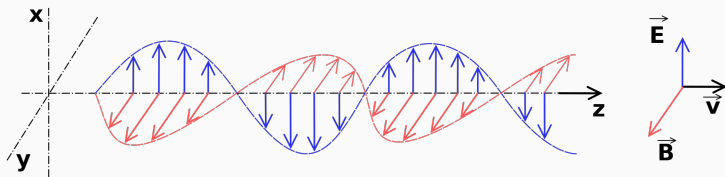
Anténní techniky

Parametry antén

Základní definice

Vlny

- Rádiové vlny - jedna z mnoha forem elektromagnetického záření
- Elektromagnetické vlnění - nosič elektrické energie



Obrázek 1: Elektromagnetické vlnění [3].

- **Polarizace** - vlastnost příčného vlnění týkající se uspořádaného vztahu mezi směrem kmitání rušivého vlivu a směrem šíření vlnění.
- Polarizace se také nazývá proces dosažení určitého stavu polarizace.
- Typy polarizace
 - Lineární
 - Kruhový
 - Eliptický
 - Radial
 - Azimuthal

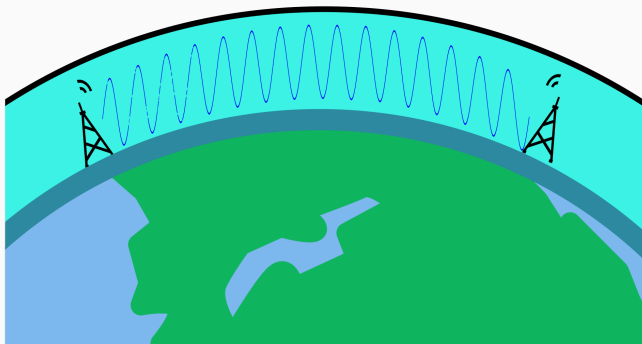
- Vyskytuje se u takových typů vln a za takových podmínek, za kterých může docházet ke kmitání v různých směrech kolmých ke směru šíření vlny.

Šíření rádiových vln

Šíření rádiových vln je termín popisující šíření rádiových vln, které závisí na vlastnostech vlny, jako je frekvence nebo polarizace, a také na podmínkách prostředí, ve kterém se vlna šíří.

Stejně jako světelné vlny podléhají i rádiové vlny jevům.

- odrazy
- refrakční vzor
- princip difrakce
- princip absorpce
- Metoda polarizace
- Princip rozptylu



Obrázek 2: Šíření signálu v prostoru [6].

Pochopení vlivu měnících se podmínek na šíření rádiových vln má mnoho praktických aplikací, od výběru frekvencí pro mezinárodní krátkovlnné vysílání přes návrh spolehlivých systémů mobilních telefonů až po radionavigaci a provoz radarových systémů.

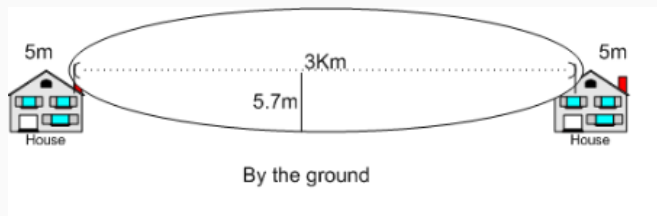
V praktických rádiových přenosových systémech se používá několik různých typů šíření.

- Přímá viditelnost se vztahuje na rádiové vlny, které se šíří po přímce od vysílací antény k přijímací anténě.
- Používá se pro rádiový přenos na střední vzdálenosti, např. mobilní telefony, bezdrátové telefony, vysílačky, bezdrátové sítě, FM rádio, televizní přenos, radar a satelitní komunikace (např. satelitní televize).
- Představuje jedinou metodu šíření, kterou lze použít na mikrovlnných frekvencích a vyšších.

Fresnelova zóna - je oblast, kde se udržuje určitá úroveň energie.

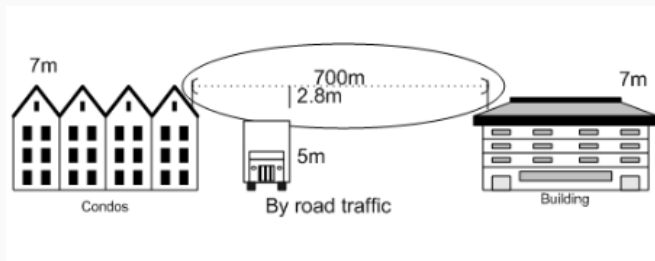
- Definuje oblast mezi vysílačem a přijímačem a v jejich okolí.
- Tento prostor má elipsoidní tvar
- Primární vlna se od vysílače k přijímači šíří relativně přímočaře.
- Pokud jsou mezi vysílačem a přijímačem překážky nebo odrazivé předměty, mohou vlny dorazit k přijímači s různým fázovým posunem.

Šíření rádiových vln vii



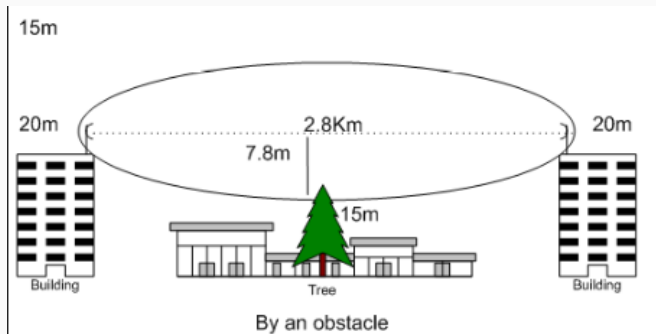
Obrázek 3: Šíření signálu v prostoru [1].

Šíření rádiových vln viii



Obrázek 4: Šíření signálu v prostoru [1].

Šíření rádiových vln ix



Obrázek 5: Šíření signálu v prostoru [1].

- Účelem všech telekomunikačních systémů je přenášet informace prostřednictvím centra šíření vln. Mezi tato centra patří:
 - Atmosféra
 - Water
 - Vnitřek Země
 - Měděný kabel
 - Optický kabel

- Vysílání, příjem a přehrávání signálů závisí na uspořádání zařízení určených k jejich realizaci. V případě šíření rádiových vln závisí podmínky šíření signálu na mnoha faktorech, které nemůžeme ovlivnit.

- Většina vysílaných signálů se šíří v atmosféře, která je základním prostředím šíření rádiových vln.
- Pouze v několika případech se vlny šíří ve volném prostoru kolem Země.
- Z hlediska radionavigace a radiokomunikace jsou důležitými vrstvami atmosféry troposféra a ionosféra, které jsou odděleny stratosférou.

- **Troposféra** - sahá od povrchu Země do výšky 10-18 km v závislosti na zeměpisné šířce. Šíření vln v tomto prostoru je silně závislé na meteorologických jevech, které mohou ovlivnit výskyt šumu v signálu.

- **Ionosféra** - zahrnuje oblasti ve výšce více než 60 km nad Zemí. Rádiové vlny se od ionosféry převážně odrážejí a jejich průchod touto vrstvou závisí na vlnové délce a úhlu dopadu na povrch ionosféry. Kontakt s objekty ve vesmíru je možný pomocí tzv. rádiových oken, která umožňují šíření signálu na velké vzdálenosti.



Obrázek 6: Šíření dlouhovlnného signálu v prostoru [6].

Průvodní jevy šíření rádiových vln

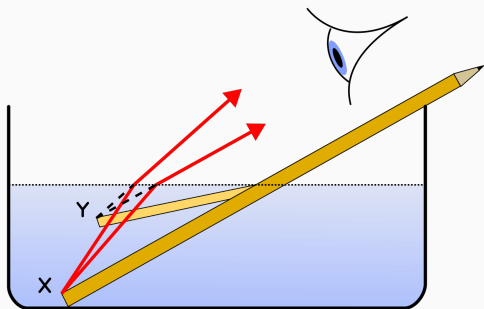
- Odraz vln od zemského povrchu (refrakce)
- Odraz vln v troposféře
- Ohyb vln nad zemským povrchem (difrakce)
- Absorpce vln v atmosféře.

Průvodní jevy šíření rádiových vln ii

- Refrakce - nastává na hranici dvou prostředí s různými parametry propustnosti.
 - Index lomu lze vyjádřit jako

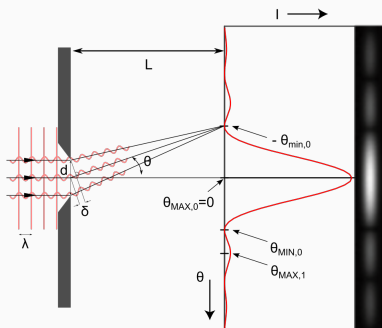
$$N = \frac{c}{v} \quad (1)$$

- kde
 - N - index lomu
 - c - rychlost světla ve vakuu [$\frac{m}{s}$]
 - v - rychlost světla v daném prostředí [$\frac{m}{s}$]
- Difrakce - nastává, když vlna narazí na překážku, čím menší je velikost překážky vzhledem k vlnové délce, tím větší je hodnota difrakce.



Obrázek 7: Refrakce [7].

Průvodní jevy šíření rádiových vln iv



Obrázek 8: Difrakce [8].

Průvodní jevy šíření rádiových vln v

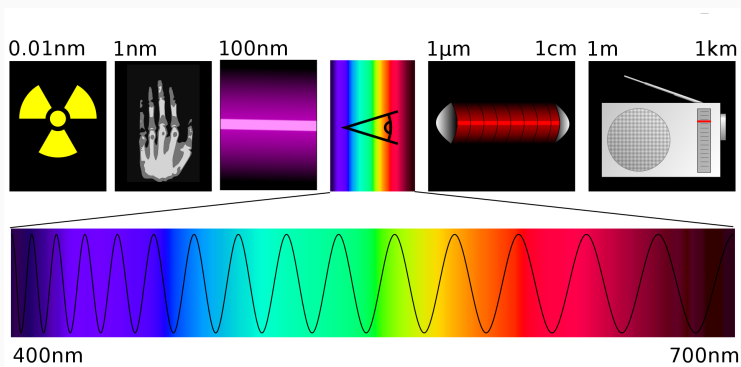
Typy šíření vln v závislosti na frekvenci

Vzhledem k frekvenci vln šířících se v prostoru je lze rozdělit na 4 hlavní typy.

Typ	Frekvence	Vlnová délka
Dlouhé vlny	30 - 300 KHz	10 km - 1 km
Střední vlny	300 KHz - 3 MHz	1 km - 100 m
Krátké vlny	3 - 30 MHz	100 m - 10 m.
Ultrakrátké vlny	30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m.

Tabulka 1: Typy elektromagnetických vln

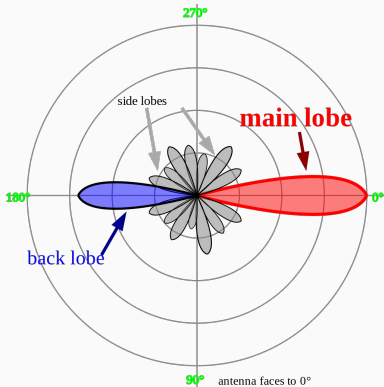
Průvodní jevy šíření rádiových vln vi



Obrázek 9: Typy elektromagnetických vln [3].

Anténní techniky

- První anténu si nechali patentovat japonští vědci v roce 1940.
- Úkolem antén je měnit elektromagnetický signál na elektrický a naopak.



Obrázek 10: Vyzařovací diagram antény [2].

- Všesměrová anténa
 - Vlny se šíří se stejnou intenzitou v každém směru v jedné rovině.
 - Maximální pokles výkonu není menší než 3 dB.
 - Díky svým vlastnostem jsou vhodné pro mobilní aplikace.
- Směrová anténa
 - Vyzařuje téměř veškerý výkon v jednom směru
 - Tvar charakteristiky je většinou ve tvaru špendlíku.
 - Šířka paprsku při úhlu polovičního výkonu je od několika do několika stupňů.

- Rozdělení antén
- Díky směrovosti
 - Omnidirectional
 - Směrový
- Díky spojení se složkou elektromagnetického pole
 - Elektrotechnika
 - Magnetický

- Efektivní plocha $A_s [m^2]$ - hypotetická efektivní plocha příjmu rádiového signálu
- Směrový zisk $D [dBi]$ - poměr hustoty vyzářeného výkonu v daném směru k průměrné hustotě výkonu.
- $G [dBi]$ - součin směrového zisku a účinnosti antény

$$G = \eta_A \cdot D \tag{2}$$
$$\eta_A \approx 95\% - 98\%$$

- Úhel polovičního výkonu $23dB$ - úhel, za kterým výkon signálu klesne o 3 dB pod maximální výkon.

- **Zůstatek odkazu** - porovnání výkonu signálu na vysílací straně rádiového spoje s výkonem signálu na jeho přijímací straně s ohledem na ztráty v komunikačním kanálu.
- Ukazuje, jak vybrat komponenty spoje tak, aby výkon přijímaného signálu byl přiměřeně vyšší než citlivost přijímače.

Zdroje

- 1 - https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_zone
- 2 - [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio))
- 3 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_elektromagnetyczne
- 4 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength>
- 5 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Oscillation>
- 6 - https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_propagation
- 7 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Refraction>
- 8 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction>

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Analogově-digitální a digitálně-analogový převod

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Analogově-digitální převodník

 Výběr vzorků

 Kvantizace

 Kódování

 Konverzní A/C diagram

Digitálně analogový převodník

Základní definice

Základní parametry přenosových cest

- **Šířka pásma** (Hz) - vhodnost šířky pásma, rozdíl mezi horní a dolní frekvencí pásma
- **Bit rate** (šířka pásma) - vyjádřená v bitech za sekundu, kolik bitů se přeneše za sekundu přes určité přenosové médium.
- Shannonův zákon Maximální teoretická přenosová rychlost. - Shannonův zákon

$$P = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

- kde
 - B - šířka pásma
 - S - výkon signálu
 - N - hlukový výkon

- **Spektrální účinnost** - kolik bitů lze přenést na dané frekvenci.
- **Bit rate** - součin přenosové rychlosti a vzdálenosti mezi regenerátory.
- Součin přenosové rychlosti a vzdálenosti mezi regenerátory - věrnost informací přenášených po trase.
- Poměr počtu informačních bitů k celkovému počtu informačních bitů. - poměr počtu informačních bitů k celkovému počtu bitů.

- **Výběr vzorků** - vzorkování signálu ve stanovených časových intervalech
- **Kvantizace** - záznam zaznamenaných vzorků v diskrétní podobě
- **Kódování** - přiřazení bitových hodnot vzorkům po kvantizaci

- **Převodník** - zařízení, které určitým způsobem převádí danou veličinu na jinou veličinu. Vyznačují se malými rozměry, nízkou spotřebou energie a širokým rozsahem měření.
- Podle typu aplikace lze rozlišit:
 - Analogově-digitální převodníky
 - Digitálně-analogové převodníky

Analogově-digitální převodník

Analogově-digitální převodník (A/C)

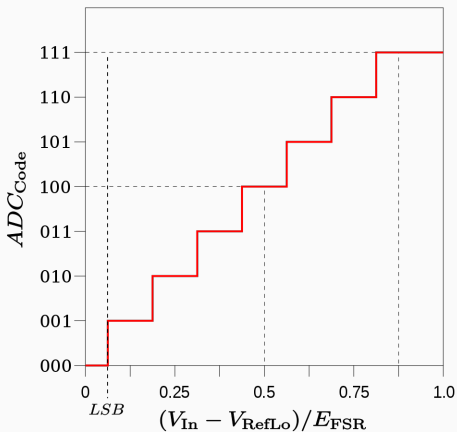
- Jeho úkolem je převést analogový (spojitý) signál na odpovídající digitální reprezentaci (digitální signál).
- It se používá v mnoha elektronických zařízeních založených na architektuře zero-one, která umožňuje zpracovávat zaznamenané signály.
- Proces konverze zahrnuje zjednodušení analogového signálu na diskretní signál, což znamená převod spojitých hodnot na jejich ekvivalenty ve formě kroků.

Při práci A/D převodníku se rozlišují tři hlavní fáze:

- Vzorkování
- Kvantizace
- Kódování

Kromě toho probíhá během provozu převodníku proces **filtrace**. Jde o provádění určitých operací na sadě vstupních vzorků sousedících s aktuálním vzorkem a někdy i s využitím řady předchozích vzorků výstupního signálu.

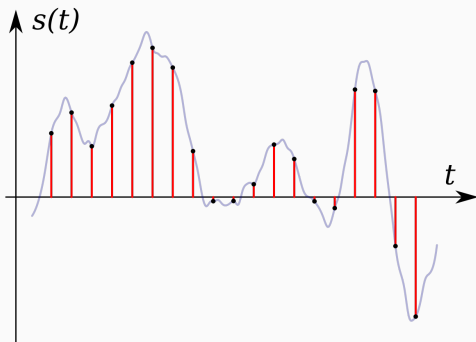
Analogově-digitální převodník iii



Obrázek 1: Napěťové úrovně versus kvantizační úroveň [9].

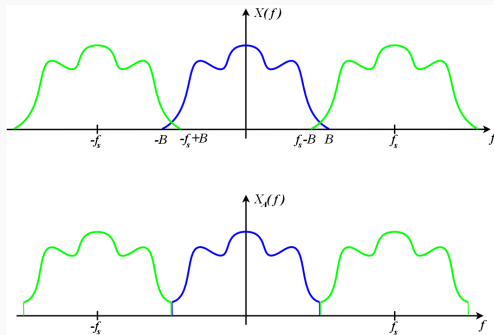
Výběr vzorků – proces, při kterém se ze spojitého signálu extrahují hodnoty v určitých časových bodech, což umožňuje reprezentovat analogový signál posloupností diskretních vzorků.

- Signál by měl být vzorkován s frekvencí nejméně 2násobku maximální frekvence signálu, aby bylo dosaženo spolehlivé reprezentace (Nyquist-Shannonův zákon).
- Odběr vzorků by měl probíhat ve stejných časových intervalech.



Obrázek 2: Vzorkování signálu [1].

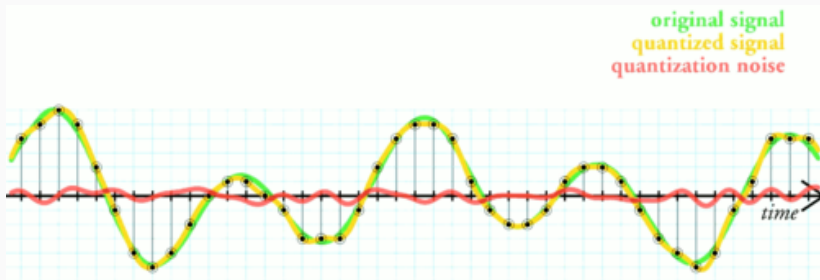
Výběr vzorků iii



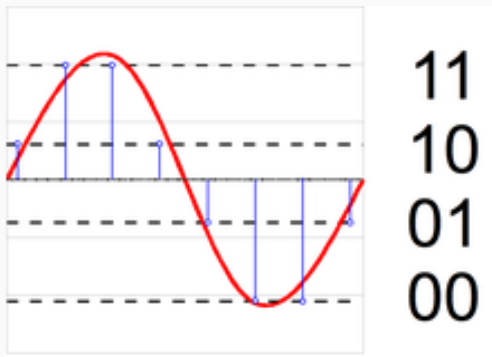
Obrázek 3: Spektrum diskrétního signálu a jev aliasingu [8].

Kvantizace – (diskretizace) - proces, při kterém se zaznamenaným vzorkům přiřadí příslušná diskrétní hodnota.

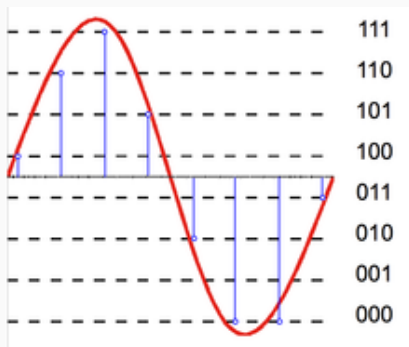
- Přiřazená diskrétní hodnota pro daný vzorek závisí na pevné kvantizační úrovni.
- Čím více kvantizačních úrovní, tím lepší je reprezentace vstupního signálu.



Obrázek 5: Kvantizace signálu [6].



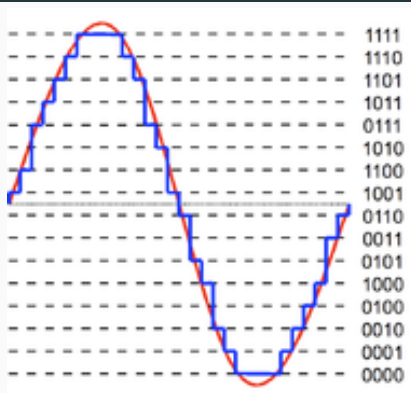
Obrázek 6: 2bitový kvantizer [6].



Obrázek 7: 3bitový kvantizer [6].

Kódování – proces, při kterém jsou bitové protějšky reprezentující tyto vzorky přiřazeny přiřazeným kvantizačním úrovním vzorků. Metoda kódování závisí na zvolené úrovni kvantizace.

- 2 bit (00, 01, 10, 11)
- 3 bit (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111)
- Čím větší je bitová reprezentace, tím nižší je kvantizační šum.



Obrázek 8: Kódování diskretního signálu [3].

Schéma operací prováděných analogově-digitálním převodníkem

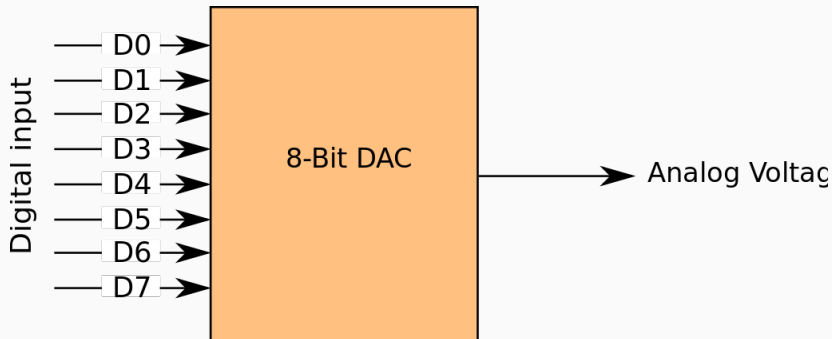


Obrázek 9: Činnost A/D převodníku.

Digitálně analogový převodník

- Digitálně analogový převodník (C/A) je elektronické zařízení, které umožňuje převádět digitální signál (binární signál) na analogový signál. Má m vstupů a jeden výstup.
- Jiný název pro převodníky DAC je DAC (Digital to Analog Converter).

Digitálně analogový převodník ii



Obrázek 10: D/A převodník[7].

Digitálně-analogové převodníky lze rozlišit podle způsobu fungování vstupních obvodů.

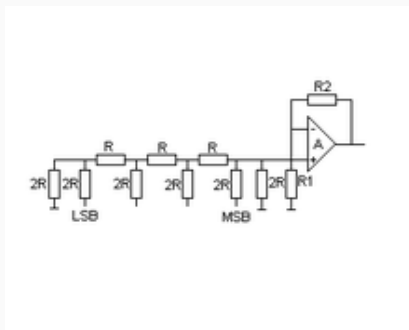
- Paralelní - bity signálu jsou aplikovány současně
- Serial - výstupní signál je vytvořen až po postupném přijetí všech vstupních bitů.

Konstrukce D/A převodníku

- Status register - může být integrovaná spínací jednotka
- Elektronická spínací sestava - řízená digitálními signály
- Rezistorová síť
- Zdroj napětí

Digitálně analogový převodník v

Návrh vzorového převodníku



Obrázek 11: Konstrukce A/D převodníku [4].

Parametry převodníku DAC

- Chyba škálování
- Rychlost zpracování
- Settling time
- Přepínání zkreslení
- Dynamická stupnice
- Maximální vzorkovací frekvence
- Maximální vzorkovací frekvence

Aplikace

- Audio zařízení
- Hráči CD
- Herní konzole
- Mobilní zařízení
- Osobní počítače
- Mobilní telefony

Zdroje

- 1 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Cz%C4%99stotliwo%C5%9B%C4%87_pr%C3%B3bkowania
- 2 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Przetwornik_cyfrowo-analogowy
- 3 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Sygna%C5%82_analogowy
- 4 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Przetwornik_cyfrowo-analogowy
- 5 - [https://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_\(signal_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_(signal_processing))
- 6 - [https://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_\(signal_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_(signal_processing))
- 7 - https://en.wikipedia.org/wiki/Digital-to-analog_converter
- 8 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Twierdzenie_o_pr%C3%B3bkowaniu
- 9 - https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Reprezentace rádiových signálů ve frekvenční oblasti

Project: Innovative Open Source Courses for Computer Science

30.05.2021

Základní definice

Modulace v telekomunikacích

Demodulace v telekomunikacích

Analogová modulace

Digitální modulace

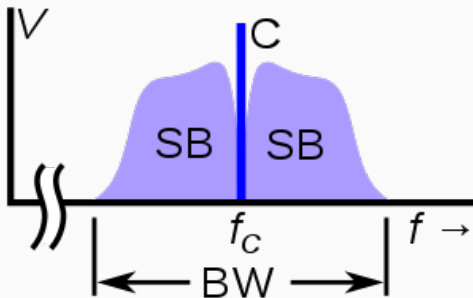
Modulace ASK

Modulace FSK

Modulace PSK

Základní definice

- **Nosná vlna** - elektromagnetická vlna o konstantní frekvenci, kterou vytváří vysílač elektromagnetických vln.
- **Modulace** - náhodná nebo záměrná změna parametrů signálu tak, aby odpovídal zadaným požadavkům.
- **Demodulace** - extrakce původního signálu nesoucího informaci z nosné vlny



Obrázek 1: Nosná vlna signálu [8].

- **Spektrum signálu** - Soubor frekvenčních složek signálu známých jako harmonické. Spektrum signálu je znázorněno ve frekvenční oblasti.
- Frekvenční reprezentace signálu

$$x(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \quad (1)$$

Diskrétní Fourierova transformace

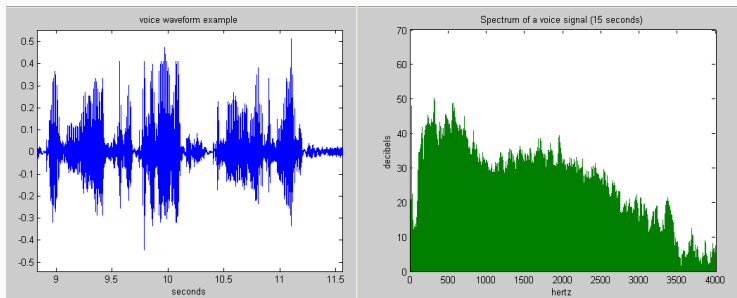
$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n w_N^{-kn}, 0 \leq k \leq N-1, \quad (2)$$
$$w_N = e^{i\frac{2\pi}{N}}$$

- i - imaginární jednotka
- k - počet harmonických složek
- n - číslo vzorku signálu
- a_n - hodnota vzorku signálu
- N - počet vzorků

Grafické znázornění signálu ve frekvenční oblasti lze znázornit následujícím grafem

- Hodnoty na ose X jsou hodnoty frekvence signálu.
- Hodnoty na ose Y představují amplitudu signálu pro danou frekvenci.

Základní definice vi



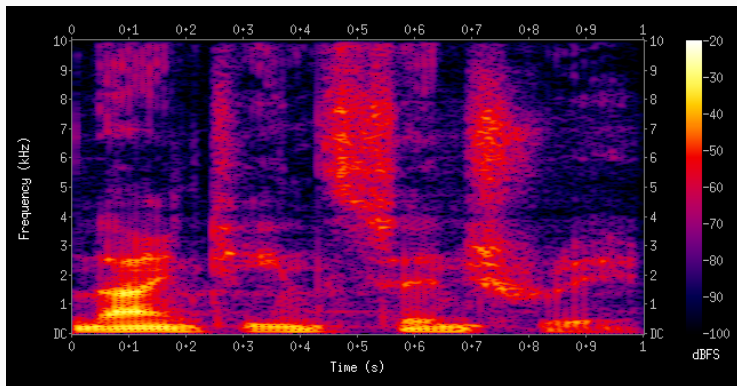
Obrázek 2: Frekvenční spektrum řečového signálu [9].

- **Modulátor** - elektronický obvod realizující modulační proces, který pracuje na základě zvolené modulační metody zodpovědné za modifikaci přenášené informace.
- Má dva vstupy:
 - Informační signál
 - Nosný signál

- **Demodulátor** - obvykle ve formě elektronického obvodu, počítačového programu nebo programovatelného rádia, jeho úkolem je získat informační obsah z modulované nosné vlny, má implementované demodulační řešení v souladu s komplementárním modulátorem.

- **Spektrogram** - je vizuální znázornění frekvenčního spektra signálu, které se mění v čase. Při aplikaci na zvukový signál se spektrogramy někdy nazývají sonografy. Pokud jsou data znázorněna ve 3D grafu, mohou se nazývat vodopády.
- Jsou také hojně využívány v oblasti hudby, lingvistiky, sonaru, radaru, zpracování řeči nebo seismologie. Zvukové spektrogramy lze použít k fonetické identifikaci mluvených slov a k analýze různých zvířecích volání.

Základní definice x

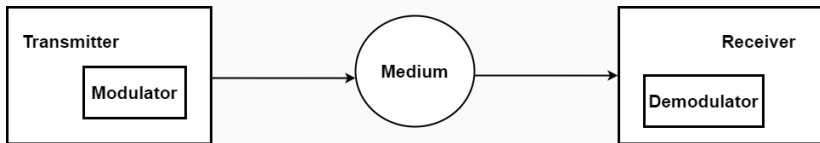


Obrázek 3: Spektrogram [5].

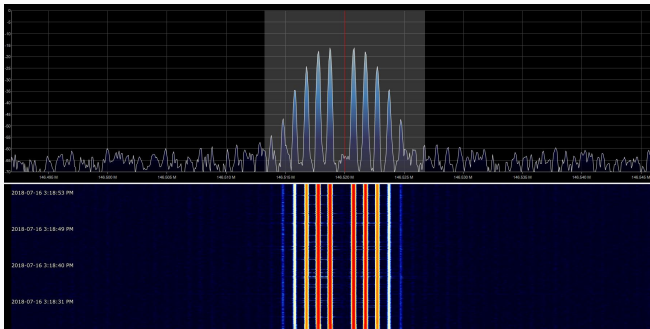
Modulace v telekomunikacích

- Modulace je nezbytným prvkem při přenosu signálu vzhledem k použitému přenosovému médiu.
- Fyzická omezení způsobují zkreslení informací v důsledku vnějšího rušení.
- Přpravovaný signál musí být dodán v takové formě, aby informace v něm obsažené mohly být správně odděleny.

Přenos v telekomunikacích



Obrázek 4: Telekomunikace pomocí modulace



Obrázek 5: Příklad modulačního průběhu [1].

Demodulace v telekomunikacích

- Demodulace je opačný proces než modulace. Demodulátor rekonstruuje modulující signál z modulovaného průběhu.
- Při tomto procesu se z původního signálu extrahují informace z nosného průběhu.
- Vzhledem k různým metodám modulace existuje mnoho typů demodulátorů.

Výstupní signál z demodulátoru může mít tvar

- Zvuková položka
- Obrázek
- Binární data

Analogová modulace

Analogová modulace označuje proces přenosu analogového signálu základního pásma (nízké frekvence), jako je zvukový nebo televizní signál, na signál vyšší frekvence, například na rádiovou frekvenci.

Proces modulace se používá k úpravě hodnot parametrů signálu tak, aby bylo možné přenášet vysílanou informaci přes dané médium, které má specifické požadavky na podobu přenášeného signálu.

Existují také 3 základní analogové modulace

- AM amplitudová modulace - ovlivňujeme změnu amplitudy modulovaného signálu
- FM frekvenční modulace - měníme frekvenci modulovaného signálu
- Fázová modulace PM - ovlivňuje fázi (posun) modulovaného signálu

Digitální modulace

- Digitální modulace – je proces změny nosného signálu v analogové podobě na signál v binární podobě, který lze snadno přenášet přenosovým médiem.
- Proces digitální modulace se také nazývá klíčovací operace.

Existují 3 základní operace digitální modulace

- Modulace ASK (Amplitude Shift Keying) - modifikace amplitudy signálu
- Modulace FSK (Frequency Shift Keying) - modifikace frekvence signálu
- Modulace PSK (Phase Shift Keying) - modifikace fáze signálu

Amplitudové klíčování

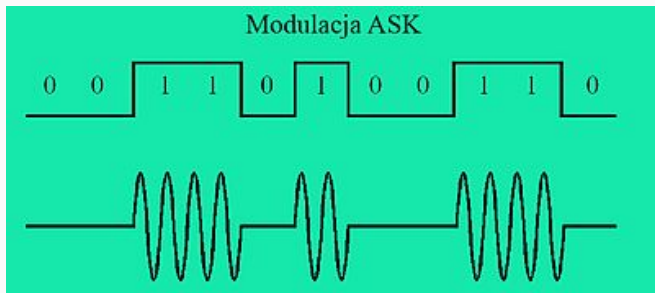
- To zahrnuje změnu amplitudy nosného signálu v závislosti na digitálním modulačním signálu.
- Charakteristické je, že díky digitálnímu signálu je ve vysokém stavu přítomna plná amplituda modulovaného signálu. Naopak v nízkém stavu se tato amplituda snižuje.

$$z_A(t) = \begin{cases} A_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_n \cdot t) & \text{pro } b[n] = 0 \\ A_2 \cdot \sin(2\pi \cdot f_n \cdot t) & \text{pro } b[n] = 1 \end{cases} \quad (3)$$

- $n = 0, \dots, B - 1$
- B - počet signálních bitů

Modulace ASK iii

Grafické znázornění signálu modulovaného ASK modulací



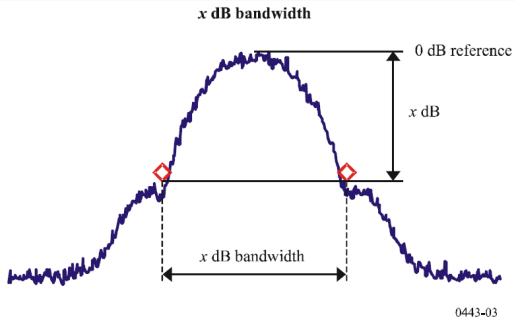
Obrázek 6: Průběh signálu před a po modulaci ASK [2].

Klíčování frekvence

- Spočívá v přiřazení příslušné frekvence nosného signálu každému ze dvou stavů modulačního signálu.
- Je charakterizován konstantní okamžitou amplitudou nezávislou na modulačním signálu.
- It je odolná vůči impulsnímu šumu, útlumu a zpoždění, což ji činí atraktivnější pro použití než ASK modulaci.

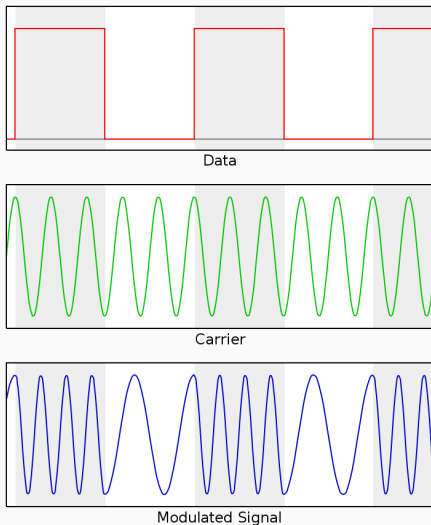
$$z_F(t) = \begin{cases} \sin(2\pi \cdot f_{n1} \cdot t) & \text{pro } b[n] = 0 \\ \sin(2\pi \cdot f_{n2} \cdot t) & \text{pro } b[n] = 1 \end{cases} \quad (4)$$

- $n = 0, \dots, B - 1$
- B - počet signálních bitů



Obrázek 7: Frekvenční průběh signálu [3].

Modulace FSK iv



Obrázek 8: Frekvenční klíčovací průběh [4].

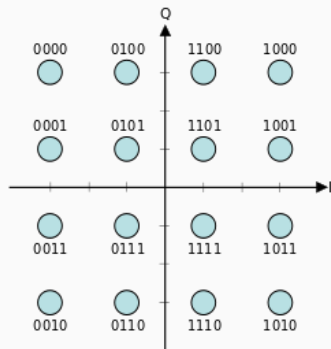
Fázové klíčování

- Spočívá v posunu nosné vlny signálu v závislosti na stavu primární informace.
- Amplituda a frekvence modulovaného signálu jsou konstantní.
- V digitálních systémech se používá zřídka
- Hardwarová implementace modulace FSK je jednodušší.

$$z_p(t) = \begin{cases} \sin(2\pi \cdot f_n \cdot t) & \text{pro } b[n] = 0 \\ \sin(2\pi \cdot f_n \cdot t + \pi) & \text{pro } b[n] = 1 \end{cases} \quad (5)$$

- $n = 0, \dots, B - 1$
- B - l počet signálních bitů

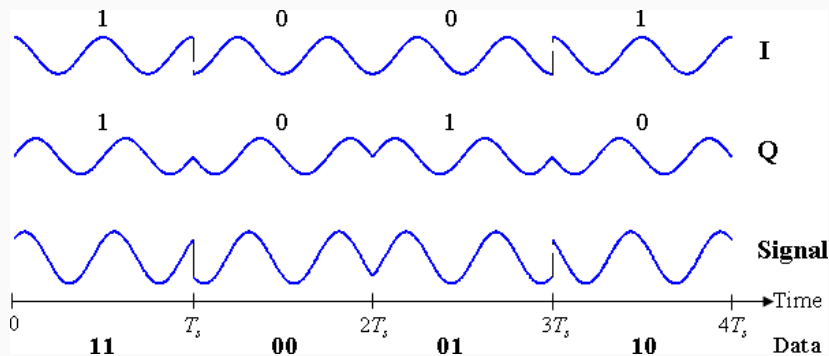
Konstelační diagram



Obrázek 9: Konstelační diagram [10].

Modulace PSK iv

Grafické znázornění signálu modulovaného modulací PSK



Obrázek 10: Tok klíčování QPSK [6].

Zdroje

- 1 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation>
- 2 - <https://pl.wikipedia.org/wiki/ASK>
- 3 - Bandwidth measurement at monitoring stations, ITU-R
- 4 - https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-shift_keying
- 5 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrogram>
- 6 - https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying
- 7 - https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude-shift_keying
- 8 - https://en.wikipedia.org/wiki/Carrier_wave
- 9 - https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_density#Explanation
- 10 - https://en.wikipedia.org/wiki/Constellation_diagram

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Vlastnosti bezdrátových přenosových kanálů

Project: Innovative Open Source Courses for Computer Science

30.05.2021

Základní definice

Rádiové vlny

Standardy v bezdrátových sítích

Rušení signálu

Bezdrátové sítě

- Technologie Wi-Fi

- Zabezpečení sítě Wi-Fi

- Technologie Bluetooth

- Aplikace bezdrátového přenosu

- Výhody bezdrátové sítě

- Nevýhody bezdrátové sítě

Základní definice

- **Přenos** - proces přenosu jakékoli zprávy nebo dat obecně mezi odesílatelem a příjemcem zapsaný v určitém vzájemně srozumitelném kódu a po určité cestě.
- **Bezdrátový přenos** - přenos pomocí bezdrátových metod komunikace mezi stranami, které jsou od sebe značně vzdáleny, prováděný v reálném čase.

- **Drátové médium** - přenosové médium, které k přenosu signálu využívá fyzický prvek spojující přijímač s odesílatelem.
- **Bezdrátové médium** - přenosové médium, které přenáší informace mezi odesílatelem a příjemcem bez použití fyzického média.

- **Elektromagnetická vlna** - předpověděl J. C. Maxwell v roce 1834, zatímco Heinrich Hertz ji objevil v roce 1887.
 - Jedná se o rovinnou příčnou vlnu, která se šíří kolmo na kmitání elektrického a magnetického pole.
 - A předmět se šíří rychlostí $3 \cdot 10^8$ *fracms*.
- **Elektromagnetické vlny** - oblasti použití
 - v infračervené oblasti
 - Rozsah RF

Rádiové vlny

- Zdroje rádiových vln mohou být přirozené nebo umělé, například vysílání vysílacích stanic mobilních telefonů.
- Hlavním účelem je přenášet informace.
- In telekomunikace, používané pro přenos dat
- Existuje několik typů rádiových vln.
- Pro přenos dat se používají ultrakrátké, krátké, střední a dlouhé vlny.

Standardy v bezdrátových sítích

- **IEEE 802.11** - podskupina norem IEEE 802.
- Popisuje fyzickou vrstvu a fyzickou podvrstvu MAC bezdrátových lokálních sítí.
- Obsahuje 4 nezávislé protokoly zaměřené na šifrování
- 802.11 jsou základem pro certifikaci sítí Wi-Fi.

Standardy v bezdrátových sítích ii

Standardní	Frekvence	Maximální propustnost
802.11a	5 GHz	54 Mb/s
802.11b	2.4 GHz	11 Mb/s
802.11g	2.4 GHz	54 Mb/s
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	150 Mb/s, 600 Mb/s
802.11ac	5 GHz	až několik Gb/s

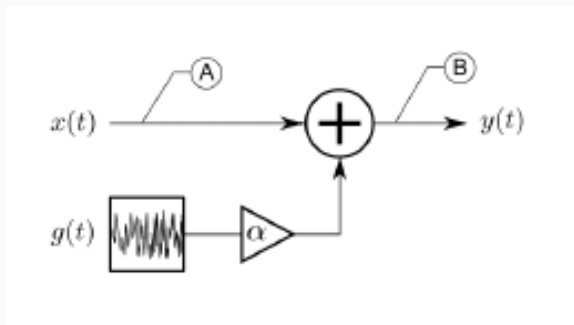
Tabulka 1: Tabulka s údaji popisujícími bezdrátové standardy

Rušení signálu

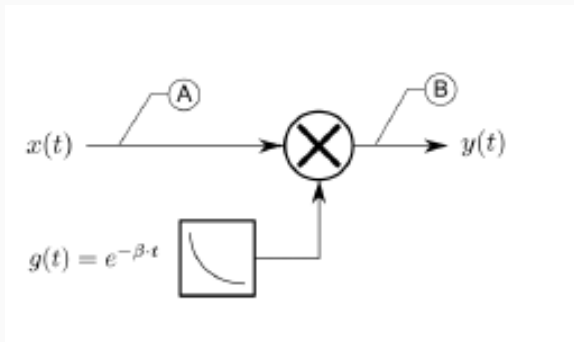
Během přenosu informací mezi odesílatelem a příjemcem je signál vystaven vnějším faktorům, které mohou způsobit chyby přenosu.

- Intersymbolová interference
- Attenuation
- Kanály AWG - s Gaussovým distribučním šumem
- Delay
- Hluk.
- Bitová chybovost
- Ztráta informací.

- Kromě toho se používají korekční a detekční kódy, které zjišťují a zabráňují poškození odesílané zprávy.



Obrázek 1: Interferenční model s aditivním šumem [1].



Obrázek 2: Model útlumu signálu [1].

- **Chybovost bitů** - Bit Error Rate
- Označované jako $BER = \frac{E}{N}$
- kde
 - E - počet chybně přijatých bitů
 - N - počet přenesených bitů

Bezdrátové sítě

- ítem PAN - Personal Area Network - na vzdálenost až 10 metrů může být použítí technologie Bluetooth.
- WLAN - bezdrátová místní síť - až 100 metrů na volném prostřanství.
 - Příkladem může být standard IEEE 802.11a/b/g/n.
- WWAN - Wireless Wide Area Network - v dosahu až 5 kilometrů.
 - GSM, GPRS, EDGE mobilní síť.

- LTE - Long Term Evolution - standard přenosu dat, který je nástupcem systémů 3G. Vyšší přenosové rychlosti, nižší latence, vyšší efektivita a nižší náklady na přenos.
- 5G - mobilní technologie páté generace, nástupce 4G. Mnohem větší požadavky na rychlost přenosu nebo snížení chybovosti.

Jedná se o bezdrátovou komunikaci ve dvou používaných frekvenčních pásmech.

- 2.4 GHz
- 5 GHz

Přesná frekvence používaná v konkrétní bezdrátové síti závisí na použitém přenosovém kanálu.

- V USA se používá 11 kanálů
- In Polsko 13 kanálů
- In Japonsko 14
- Zatímco ve Francii pouze 4

Bezdrátové sítě jsou vystaveny síťovým hrozbám. Bezpečnostní nástroje se proto používají ke zvýšení účinnosti obrany proti prováděným útokům. Nejdůležitější bezpečnostní mechanismy v bezdrátových sítích jsou:

- SSID (Service Set ID) - poskytuje velmi omezenou formu řízení přístupu vzhledem k nutnosti zadat toto ID při navazování spojení.

- Šifrování WEP (Wired Equivalent Privacy) - dostupné v každém systému Wi-Fi; šifrování je založeno na sdíleném šifrovacím klíči.
- Standard 802.1x - centralizuje identifikaci uživatelů, ověřování a dynamickou správu klíčů.
- Šifrování WPA (Wi-Fi Protected Access) - používá TKIP pro automatickou změnu šifrovacího klíče po určité době.

- Technologie Bluetooth je celosvětová iniciativa poskytující bezdrátový rádiový přístup. Iniciovali ji tito výrobci zařízení: IBM, Intel, Nokia, Toshiba, Ericsson.
- Toto řešení bylo navrženo v roce 1994 ve Švédsku.

- Na základě rádiových spojení s omezeným dosahem mezi mobilními telefony, přenosnými počítači, periferními zařízeními a audiovizuálními zařízeními.
- Komunikace mezi různými mobilními zařízeními rychlostí přenosu dat až 1 Mb/s

- V místech, kde není možné položit kabely, je bezdrátová síť často nenahraditelná.
- Existují také situace, kdy stávající kabelovou síť nelze rozšířit o další připojení. Pak může být jediným řešením použití bezdrátového přenosu.

- Informatizace historických objektů
 - Vzhledem k nemožnosti zásahu do konstrukce a provedení budovy není možné položit kabelové přenosové médium.
- Obchodní
 - Zejména v místech, která jsou dočasně využívána pro pořádání různých akcí, konferencí, venkovních akcí.

- Průmysl
 - díky absenci dodatečného zapojení výrobních zařízení To však zahrnuje potřebu větší spolehlivosti a stability přenosové soustavy.

Bezdrátové sítě se snadno používají kvůli:

- Nízké náklady
- Rychlá instalace
- Snadno se rozšiřuje
- žádný zásah do infrastruktury
- Připojení z libovolného místa

Používání bezdrátových sítí má však i své nevýhody:

- Pomalejší přenos dat než u kabelového média. bezpečnost.
zajistit dodatečné zabezpečení, které snižuje přenosovou rychlost.
rezervovat dostatečnou šířku pásma. náchylné k rušení rychlost
závisí na vzdálenosti mezi komunikujícími zařízeními

Zdroje

- 1 - https://git.wi.zut.edu.pl/kakit/materialy_publiczne/raw/branch/master/transmisja_danych/laboratoria/td-instrukcja-7.pdf

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Principy procesu modulace

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Komunikační stopa

Kvadraturní modulace

Modulace QPSK

Modulace QAM

Základní definice

- **Modulační rychlost** - udává maximální počet změn momentů nebo charakteristických stavů za 1 sekundu.
 - je vyjádřen v baudech.
 - item 1 baud = 1 *fracbs* - pouze pro telegrafní signály
 - většinou 1 bod = 1 *fracbs*
- textbfpřenosová rychlost - počet bitů přenesených za 1 sekundu při dané chybovosti.
- Baud rate a Bitová rychlost
 - Přenosová rychlost určuje modulační rychlost
 - Přenosová rychlost udává přenosovou rychlost

- **Modulace** - proces změny parametrů signálu (amplitudy, frekvence, fáze) za účelem přizpůsobení jeho vlastností použitému přenosovému médiu.
- **Modulace v telekomunikacích** - Proces změny parametrů nosné vlny, který umožňuje přenos informací.
- **Demodulace** - opačný proces k modulaci, rekonstrukce modulačního signálu z modulovaného průběhu.

- **Konstelační diagram** - grafické znázornění modulace PSK, QAM nebo CAP.
 - Konstelační body určují vzdálenost od souřadnicového bodu
- **Základní parametry v signálu**
 - Amplituda
 - Frekvence
 - Fáze

Typy modulace

- Analogový
 - AM - amplitudová modulace
 - FM - frekvenční modulace
 - PM - fázová modulace
- Digital
 - ASK - amplitudové klíčování
 - FSK - frekvenční klíčování
 - PSK - fázové klíčování

Komunikační stopa

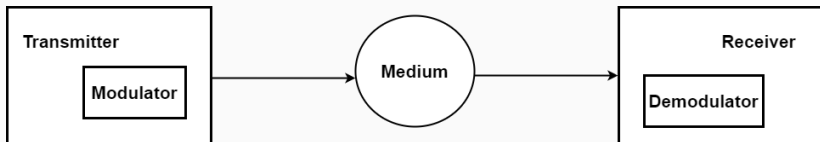
Komunikační cesta modulovaného signálu

Aby bylo možné při přenosu informací mezi odesílatelem a příjemcem používat modulační metody, musí být na obou stranách zařízení, která budou zodpovědná za modifikaci signálu a za jeho čtení. V přenosovém médiu je signál přenášen v modulované podobě.

Komunikační stopa ii

Na straně odesílatele je k dispozici **modulátor**, který přizpůsobuje parametry signálu přenosovému kanálu.

Na straně přijímače je **demodulátor**, který reprodukuje primární signál.



Obrázek 1: Průběh signálu v přenosovém kanálu.

Kvadraturní modulace

- **Modulace QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying) – jedná se o modifikovanou metodu fázové modulace
- It spočívá v kódování vysílaného signálu 2 bity a jeho reprezentaci na 4 ortogonálních fázových posuvech.

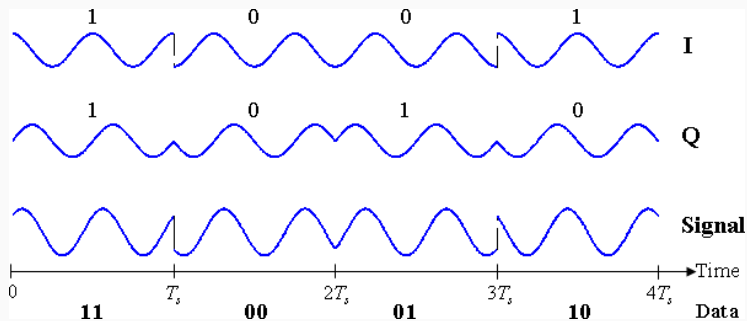
Nejběžnější přístup používaný v modulaci QPSK zahrnuje definování následujících hodnot fázových posunů:

- Bity: 00 – 45°
- Bity: 01 – 135°
- Bity: 10 – 225°
- Bity: 11 – 315°

- Hlavní výhodou této modulace je možnost reprezentovat fázi signálu pomocí hodnot, které jsou od sebe vzdáleny 90^{circ} .
- Dále reprezentace pomocí 2 bitů umožňuje přesnější reprezentaci signálu.

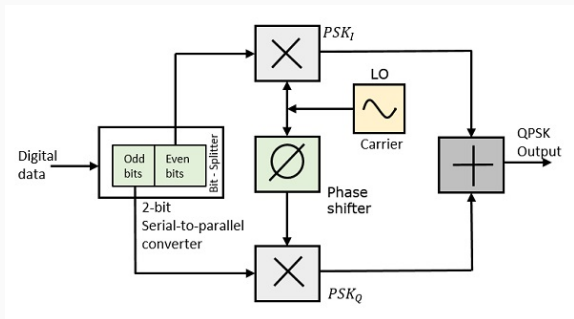
Modulace QPSK iv

Diagram QPSK pro 2bitovou úroveň kvantizace



Obrázek 2: Diagram QPSK [3].

Konstrukce modulátoru QPSK

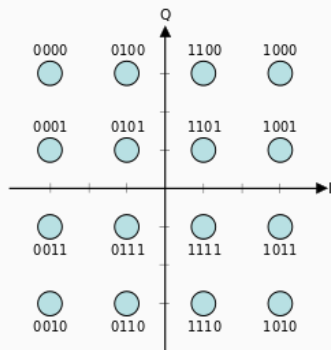


Obrázek 3: Modulátor QPSK [2].

- **Modulace QAM** (Quadrature Amplitude Modulation) – kvadrurní amplitudově-fázová modulace používaná v procesu digitální modulace
- Kombinuje principy klíčování ASK a PSK.
- Data reprezentovaná binárním řetězcem určité délky, která jsou ekvivalentní popisu amplitudy i fáze.
- A konstelační diagram sloužící ke grafickému znázornění procesu modulace a znázornění stavů

- Konstelační diagram pro modulaci 16-QAM
- 16 stavů uložených ve 4 bitech
- Každý stav se nazývá konstelační bod.
- Sousední státy jsou generovány na základě šedého kódu
 - Sousední stavy se od sebe bitově liší pouze na jedné pozici

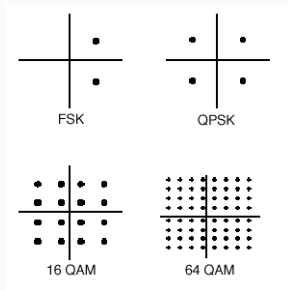
Grafické znázornění konstelačního diagramu pro QAM-16



Obrázek 4: Konstelační diagram [1].

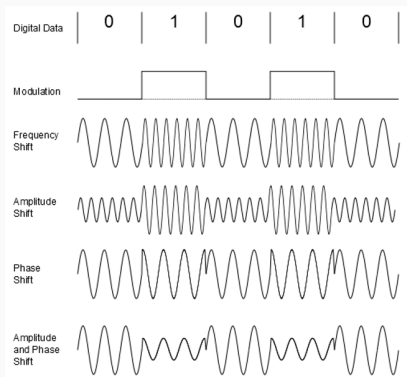
Modulace QAM iv

Srovnání konstelačních diagramů pro modulace FSK, QPSK, 16 QAM a 64 QAM



Obrázek 5: Konstelační diagram [5].

Modulace QAM v



Obrázek 6: Vlnění různých digitálních modulací [4].

Zdroje

- 1 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Diagram_konstelacji
- 2 - https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_quadrature_phase_shift_keying.htm
- 3 - https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying
- 4 - <https://www.5gtechnologyworld.com/digital-modulation-basics-part-1/>
- 5 - <https://questtel.com/wiki/qam-constellation>

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Digitální modulace

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Digitální modulace

Modulace ASK

Modulace FSK

Modulace PSK

Modulace MSK

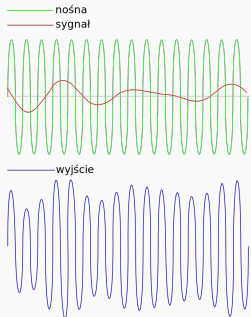
Modulace GMSK

Základní definice

- **Modulace** – proces změny parametrů signálu
- **Digitální modulace** - Proces změny analogového nosného signálu binárním modulačním signálem, který lze snadno přenášet přenosovým médiem.
- Typy digitální modulace:
 - **ASK** - Amplitudové klíčování
 - **FSK** - Frekvenční klíčování
 - **PSK** - Fázové klíčování
 - Jiné: např. QAM, PCM

- **Modulovaný signál** - signál, který prochází modulací
- **Modulační signál** - signál v binárním tvaru definující pravidla modulace.
- **Modulovaný signál** - signál odpovídající modulovanému signálu, ale po procesu modulace

Grafické znázornění modulovaného, modulujícího a modulovaného signálu



Obrázek 1: Příklad amplitudové modulace [2].

Digitální modulace

Modulace ASK i

- **Modulace ASK** (Amplitude Shift Keying) – spočívá ve změně amplitudy nosné vlny v modulovaném signálu.
- Signál ASK lze zapsat podle následujícího vzorce

$$\varphi_{ASK} = \frac{1}{2}A_0[1 + x(t)] \cos \omega_0 t \quad (1)$$

- nebo

$$\varphi_{ASK}(t) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x(t) = -1 \\ A_0 \cos \omega_0 t & \text{pro } x(t) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

- kde
 - $x(t)$ - průběh klíčování nula-jednička
 - ω_0 - pulzace nosné vlny

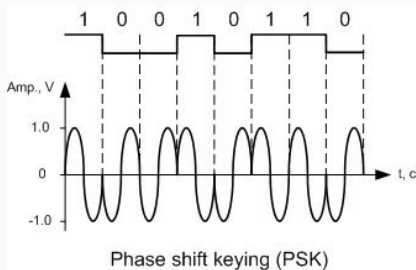
- **Modulace FSK** (Frequency Shift Keying) – Spočívá ve změně frekvence nosné vlny v modulovaném signálu při konstantní amplitudě.
- Pro určení modulačního kódu lze použít následující vzorec

$$\varphi_{FSK} = \begin{cases} A_0 \cos \omega_1 t & \text{pro } x_n = 1 \\ A_0 \cos \omega_2 t & \text{pro } x_n = 0 \end{cases} \quad (3)$$

- kde
 - ω_1, ω_2 - charakteristické frekvence
 - A_0 - amplituda nosného signálu

Modulace PSK i

Modulace PSK (Phase Shift Keying) – druh digitální modulace spočívající ve změně fáze nosné vlny modulovaného signálu.



Obrázek 2: Průběh modulace PSK [3].

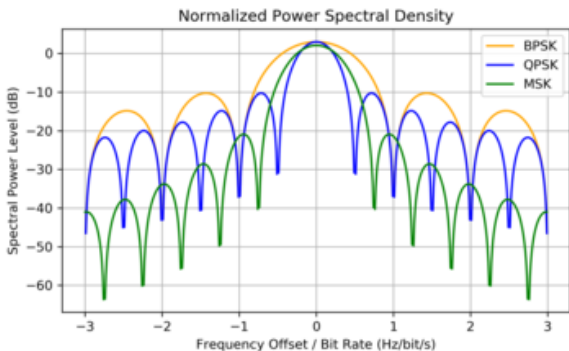
- **Modulace MSK** (Minimum Shift Keying) – varianta modulace FSK
- Vyznačuje se dobrými energetickými vlastnostmi a absencí fázových skoků v modulovaném signálu.
- Díky absenci fázových skoků je možné výrazně snížit frekvenční pásmo obsazené signálem.

Obecný vzorec pro modulovaný signál lze vyjádřit takto

$$S(t) = A \cos [\omega_0 t + \phi(t)] \quad (4)$$

- Počáteční fáze se vždy rovná konečné fázi předchozího období.
- MSK modulace používá dvě nosné frekvence pro bit 0 a 1.
- Při označení klíčovací frekvence jako f :
 - $f_0 = \frac{3}{4} f$
 - $f_1 = \frac{5}{4} f$

Modulace MSK iv

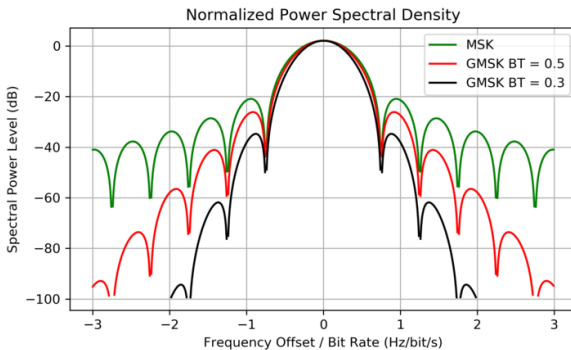


Obrázek 3: Diagram MSK [1].

- **Modulace GMSK** (Gaussian Minimum Shift Keying) –minimální fáze s Gaussovým filtrem
- Jedná se o modifikaci klíčování s frekvenčním posunem a MSK.
- Obdélníkový puls je nahrazen sinusovým pulsem díky menším postranním pásmům a užší šířce pásma ve srovnání s obdélníkovým pulsem.
- Hlavní aplikací této modulace je systém mobilních telefonů GSM.

- Šířka pásma systému je definována vztahem mezi pracovní šířkou B Gaussova filtru a periodou T
- Čím menší je hodnota BT , tím užší je spektrum signálu. V přenášeném signálu však může být zaznamenán větší počet chyb.
- V systému GSM je hodnota koeficientu $BT = 0,3$

Modulace GMSK iii



Obrázek 4: Porovnání diagramů GMSK [1].

Zdroje

- 1 - https://en.wikipedia.org/wiki/Minimum-shift_keying
- 2 - <https://pl.wikipedia.org/wiki/Modulacja>
- 3 - https://www.tmatlantic.com/encyclopedia/index.php?ELEMENT_ID=10478

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Systemy rozptylu spektra

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Spektrální rozptyl signálu

Historie technik rozptylu spektra signálu

Spread Spectrum Systems

- System DSSS

- System FHSS

- System THSS

Základní definice

- **Spektrum signálu** - zobrazení signálu ve frekvenční oblasti pomocí Fourierovy transformace.
- **Rozptyl spektra signálu** - metoda rozšíření šířky pásma signálu pomocí procesu rozptylu.

- Aplikace rozproštění spektra signálu spočívá především v umožnění práce více uživatelů při využití stejné šířky pásma.
- It se používá především ve standardu Wi-Fi, sítích Bluetooth a sítích ZigBee (senzorové sítě a automatizace budov).

Metody rozptylu spektra:

- CM (Chirp Modulation) - frekvenční rozmítání
- FH (Frequency Hopping) - rozptyl pomocí přeskakování frekvencí
- TM (Time Hopping) - rozptyl pomocí časového skoku
- DS (Direct Sequence) - rozptyl přímým klíčováním

Výhody použití rozptylu spektra:

- Zvýšená účinnost šířky pásma.
- Schopnost chránit data před zachycením informací
- Vyšší odolnost proti rušení.

Spektrální rozptyl signálu

Na základě Shanonn-Hartleyho věty o kapacitě telekomunikačního kanálu

- C – kapacita (bit/s)

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N) \quad (1)$$

- B – šířka kanálu (Hz)
- S/N – poměr výkonu signálu k šumu a rušení

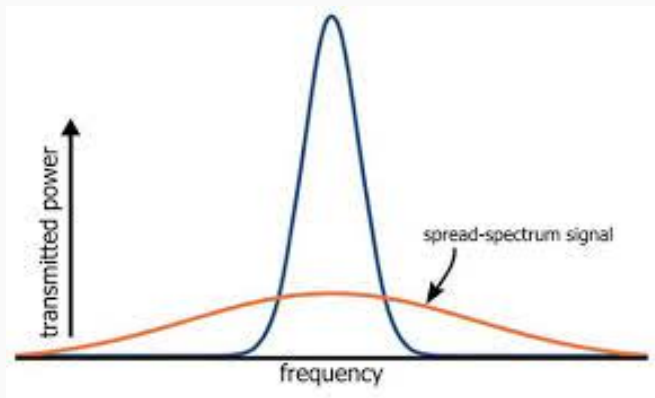
a vztahy popisující požadované šířky kanálů pro dosažení předpokládané propustnosti.

$$B = C / \log_2(1 + S/N) \quad (2)$$

z toho vyplývá, že čím menší je poměr výkonu signálu k výkonu šumu a rušení v kanálu, tím větší šířku pásma musí kanál zabírat.

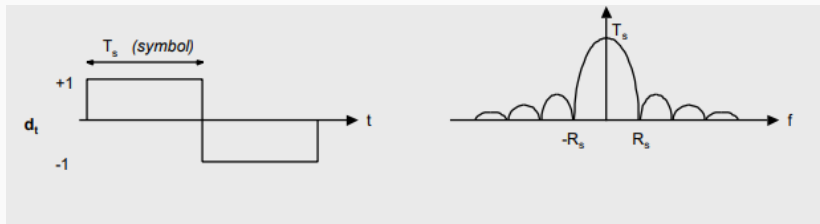
Proto je třeba použít rozprostření spektra signálu, jehož cílem je transformovat úzkopásmový informační signál na signál s několikanásobně širším spektrem.

Spektrální rozptyl signálu iv



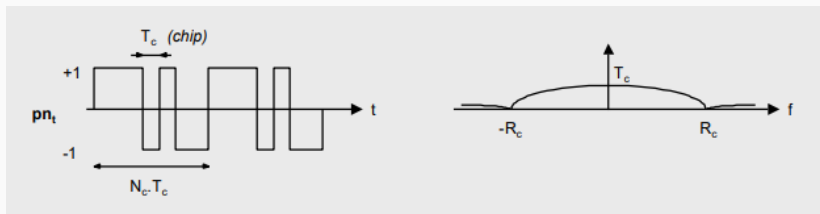
Obrázek 1: Rozprostřené spektrum [1].

Spektrální rozptyl signálu v



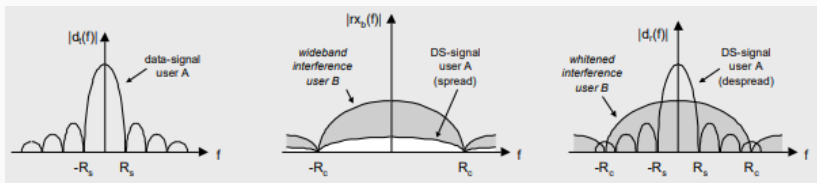
Obrázek 2: Spektrum signálu [2].

Spektrální rozptyl signálu p_n



Obrázek 3: Rozprostřené spektrum [2].

Spektrální rozptyl signálu vii



Obrázek 4: Spektrum rozptýleného signálu s interferencí [2].

Rozptyl spektra v telekomunikacích

- Rozprostřené spektrum využívá sekvenční strukturu signálu podobnou šumu k distribuci úzkopásmového informačního signálu v relativně širokém pásmu rádiových frekvencí.
- Přijímač koreluje přijaté signály, aby obnovil původní podobu informačního signálu.

- Původní použití zahrnovalo
 - Akce proti pokusům nepřátel o narušení komunikace

Historie technik rozptylu spektra signálu

- Tyto techniky jsou známy již od 40. let 20. století.
- První pokusy o experimentování s příjmem vybraných frekvencí při minimalizaci rušení provedl Guglielmo Marconi v roce 1899.
- Zpočátku se používaly pouze ve vojenských komunikačních systémech.

- Během druhé světové války herečka Hedy Lamarr a skladatel George Antheil vyvinuli rádiový naváděcí systém pro použití ve spojeneckých torpédách, který se ukázal jako odolný vůči rušení.
- Dnes se tyto systémy používají především v sítích Wi-Fi a Bluetooth, kde je jejich účelem minimalizovat výskyt rušení a zvýšit tak spolehlivost přenosu.

Spread Spectrum Systems

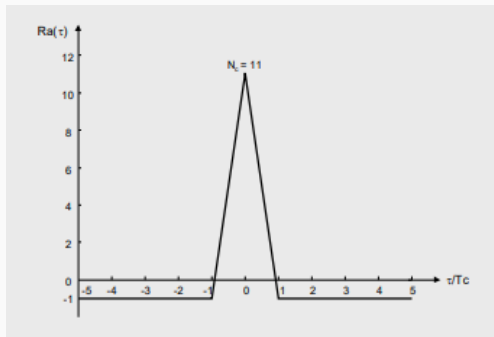
- **DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum** – Spočívá v přímé modulaci nosné kódové posloupnosti s využitím rozptylových řetězců.
- It je modulační technika s rozprostřeným spektrem, která se používá především ke snížení celkového rušení signálu.
- Při použití přímé frekvence je šířka vysílaného signálu širší než šířka informačního pásma.
- Při rozptýlení nebo odstranění modulace na přijímači se obnoví původní šířka pásma, ale výrazně se sníží neúmyslné a úmyslné rušení.

- Použití DSSS v sériovém systému je založeno na porovnávání výstupu bloku korelátoru s předem nastavenou prahovou hodnotou. Pokud je tato hodnota menší, generátor pseudonáhodných sekvencí se odpovídajícím způsobem upraví. V opačném případě je fáze ladění ukončena. Nevýhodou tohoto řešení je dlouhá doba přizpůsobení.
- V systémech s paralelní konfigurací se používá více korelátorů. To umožňuje provádět více porovnání současně, což výrazně urychluje proces ladění. Nevýhodou tohoto řešení jsou však vysoké náklady a vyšší složitost přijímače.

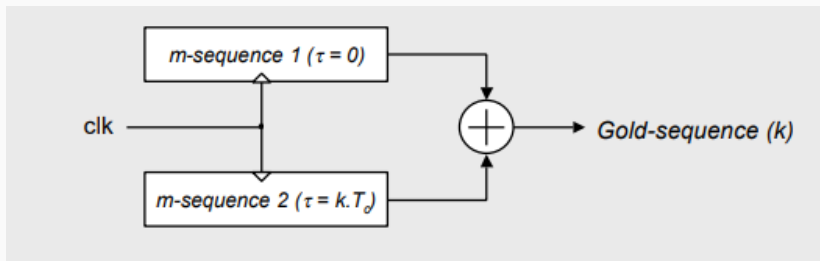
Použití rozptylové řetězce:

- Řetězce Gold
- Barker struny
- Pseudonáhodné řetězce

Očekává se, že vygenerované řetězce budou ortogonální a budou mít dobré korelační a statistické vlastnosti.



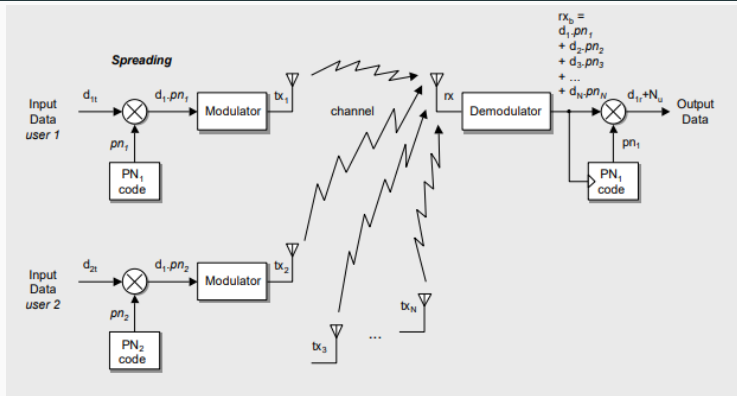
Obrázek 5: Sekvence Barker [2].



Obrázek 6: Schéma Goldova generátoru tahu [2].

- FHSS – Frequency-Hopping Spread Spectrum – metoda šíření spektra v širokopásmových systémech, která spočívá v "přeskakování" signálových frekvencí v nastavených časových intervalech v rámci dostupného spektra.
- Existují dvě základní varianty:
 - Doba trvání Bit je kratší než doba strávená na dané frekvenci.
 - Fast FHSS - frekvence se mění několikrát během trvání bitu

- "Přeskakování" znamená rychlou změnu nosné frekvence mezi mnoha různými frekvencemi zabírajícími velkou šířku spektrálního pásma.
- Slouží k zamezení rušení, zabránění odposlechu a umožnění komunikace s vícenásobným kódovým dělením (CDMA).



Obrázek 7: Provozní schéma CDMA [2].

- V jednom frekvenčním pásmu je k dispozici mnoho menších dílčích pásem. Signály v krátkých intervalech "přeskakují" na nosných frekvencích mezi středními frekvencemi těchto dílčích pásem v pevném pořadí.
- Rušení vznikající na určité frekvenci ovlivňuje signál pouze v krátkých intervalech.

- Hlavní aplikační výhody oproti přenosu na pevné frekvenci:
 - Vysoce odolný proti úzkopásmovému rušení.
 - Obtížné zachycení, pokud není znám vzor přeskokování
 - Může sdílet frekvenční pásmo s více typy přenosu

Aplikace

- Vojenské stránky
 - Rušení vysílacích signálů
 - Vojenské radiostanice jsou zodpovědné za generování vzoru přeskokování frekvencí pod kontrolou tajného bezpečnostního klíče pro přenos a odesílatel a přijímač jej předem sdílejí.
- Civilní
 - U rádiem řízených přijímačů
 - Vybrané řízené modely aut, drony
 - In policejní radary

- **THSS – Time-Hopping Spread Spectrum** – technika používaná při šíření spektra signálu za účelem dosažení nízké pravděpodobnosti rušení.
- Pro dosažení nízké pravděpodobnosti rušení signálu se doba přenosu náhodně mění změnou periody a cyklu nosného impulsu pomocí pseudonáhodné sekvence.
- V důsledku toho bude mít vysílaný signál nespojitý čas začátku a konce.

Zdroje

- 1 - <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/radio-frequency-analysis-design/selected-topics/understanding-spread-spectrum-rf-communication/>
- 2 - http://www.sss-mag.com/pdf/Ss_jme_denayer_intro_print.pdf

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Programovatelné rádio

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Princip fungování SDR

Software

GNU Radio

Výhody programovatelného rádia

Nevýhody programovatelného rádia

Aplikace

Základní definice

Historia

- Termín "softwarové rádio" byl vynalezen v roce 1984 pro digitální širokopásmový přijímač.
- zajišťoval programovatelné potlačení rušení a demodulaci širokopásmových signálů pomocí tisíců adaptivních filtrů.
- V roce 1991 Joe Mitola nezávisle na sobě objevil termín softwarové rádio pro plán na vybudování základnové stanice GSM, která by kombinovala digitální přijímač s digitálně řízenými komunikačními rušičkami.

- **Softwarově definované rádio (SDR)** - jinak známý jako digitální radiopřijímač - jedná se o radiokomunikační systém, kde je činnost základních elektronických prvků realizována pomocí počítačového programu.
- Myšlenka softwarově definovaného rádia existuje již dlouho, ale nedostatek efektivní hardwarové implementace způsobil stagnaci v praktickém využití tohoto systému.

- Základní implementace programovatelného rádia zahrnuje:
 - Počítač vybavený zvukovou kartou nebo jiným A/D převodníkem.
 - Elektronický obvod, který přijímá modulovaný vysokofrekvenční signál.
- Signál z přijímače je převeden do nižšího pásma, které je v rozsahu zpracování zvukové karty nebo A/D převodníku.

- Zpracování signálu provádí především procesor pro všeobecné použití.
- Přijímač je schopen zpracovávat různé typy rádiového vysílání změnou programu pro zpracování signálu.

Princip fungování SDR

Princip fungování SDR i

- RF komunikace se provádí pomocí softwaru nebo firmwaru, který provádí úlohy zpracování signálu, jež se běžně zpracovávají hardwarem.
- Tento hardware zahrnuje směšovače, filtry, zesilovače, modulátory, demodulátory atd.
- SDR proto používá pouze ADC a D/A převodník pro převod analogových signálů na digitální a digitálních na analogové spolu s anténami, aniž by bylo nutné používat více hardwarových komponent.

- Díky tomu je SDR velmi flexibilní a v případě problémů se snadno odstraňují potíže, protože většina zpracování probíhá v softwaru, nikoli v hardwaru.
- Software lze spustit jak na osobním počítači, tak na vestavěném systému.

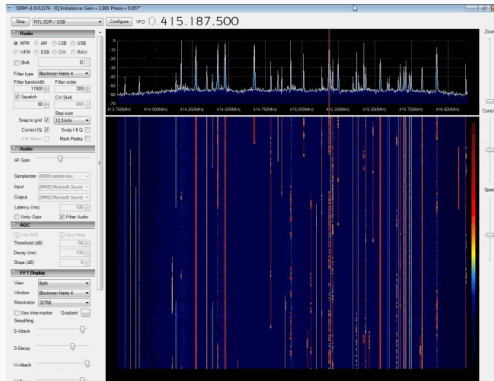


Obrázek 1: Příklad přijímače SDR [2].

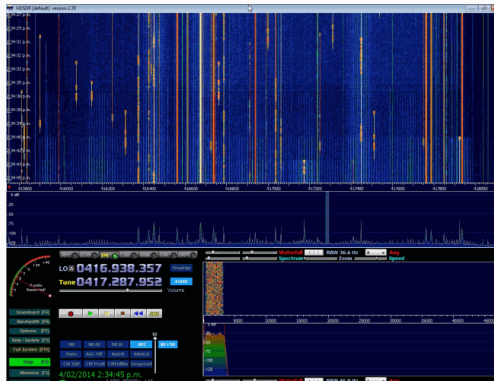
Software

- Software je klíčovou součástí programovatelného rádia.
- GNU Radio je software s otevřeným zdrojovým kódem, který umožňuje navrhovat a provozovat systémy SDR a sledovat jejich provoz.

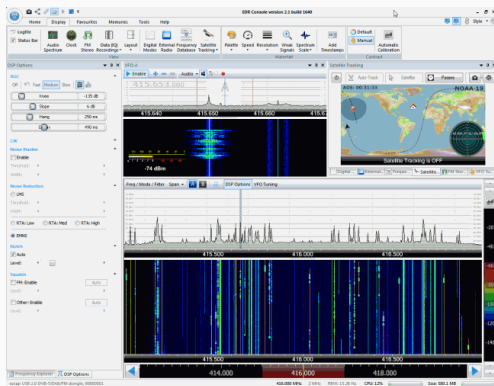
- Kromě uvedeného řešení je možné použít také software, jako je:
 - SDR
 - HDSDR
 - SDR-RADIO.com V2/V3
 - SDR++
 - GQRX



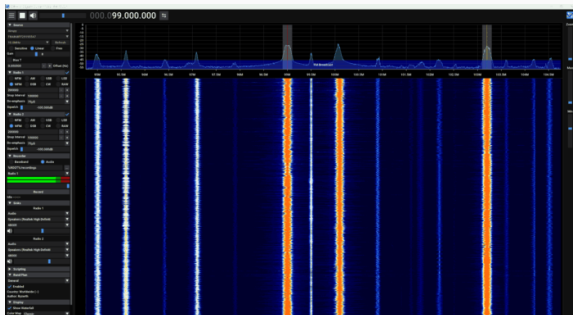
Obrázek 2: SDR [1].



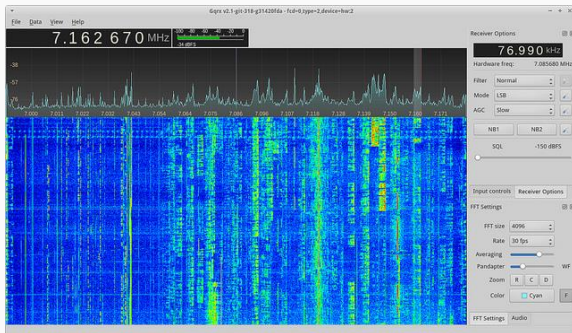
Obrázek 3: HDSDR [1].



Obrázek 4: SDR-RADIO.com V2/V3 [1].



Obrázek 5: SDR++ [1].



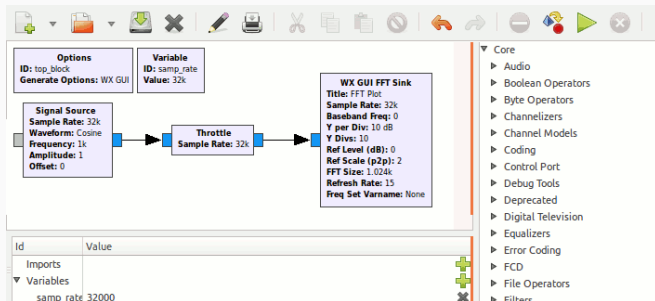
Obrázek 6: GQRX [1].

GNU Radio

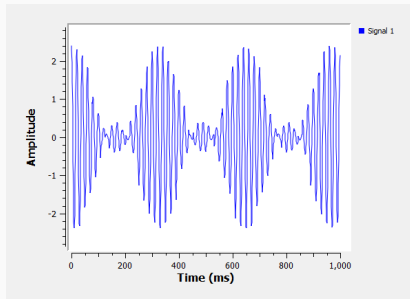
- GNU Radio má grafické rozhraní, které umožňuje navrhovat a modelovat operace potřebné při zpracování signálu.
- Je také možné generovat kód v jazyce Python
- Je alternativou k programům, jako je Matlab a LabView.

- Software je open source, takže jej můžete používat a přidávat nové komponenty bez licenčních omezení.
- Používání systémů založených na GNU Radio:
 - Čtečky RFID
 - Přijímače signálu sekundárního přehledového radaru (SSR) pro řízení letového provozu
 - Konstrukce rádiových přijímačů a vysílačů





Obrázek 7: Vzhled součástí



Obrázek 8: Signální příklad systému

Výhody programovatelného rádia

Výhody programovatelného rádia i

- Schopnost dosahovat velmi vysokých výkonů
- Možnost změny výkonu prostřednictvím aktualizace softwaru (ale nebude možné aktualizovat atributy závislé na hardwaru).
- Možnost rekonfigurace rádií prostřednictvím aktualizace softwaru
- Možnost používat stejnou hardwarovou platformu pro několik různých rádií

Nevýhody programovatelného rádia

Nevýhody programovatelného rádia i

- ADC omezují nejvyšší frekvence, které může digitální sekce použít.
- Pro vývoj SDR jsou nutné hardwarové i softwarové dovednosti.

Aplikace

- Systémy SDR hrají důležitou roli tam, kde je důležitá rychlost provozu a flexibilita přizpůsobení použitých řešení nejnovějším technikám.
- Jsou také žádoucí v technických oblastech, kde je vyžadována snadná změna přenosu signálu.
- Existují dvě hlavní kategorie zvláštních práv čerpání:
 - Systémy navržené jako přijímače SDR
 - Systémy navržené jako vysílače SDR

Oblasti použití:

- Mobilní telefonie
- Vojenská komunikace
- Příjem rozhlasového vysílání
- Rádiová astronomie
- Sledování lodí AIS
- Sledování letadel pomocí vysílání v režimu S.

Zdroje

- 1 - <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>
- 2 - https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_radio

Děkujeme vám za pozornost 😊



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Úvod do bezdrátových systémů

Project: Innovative Open Source Courses for Computer
Science

30.05.2021

Základní definice

Přenos dat

Komunikační cesta

Rádiové vlny

- Vlastnosti rádiových vln

- Aplikace rádiových vln

Výhody a nevýhody bezdrátové komunikace

Bluetooth

Základní definice

Signal

Signál lze reprezentovat ve dvou oblastech

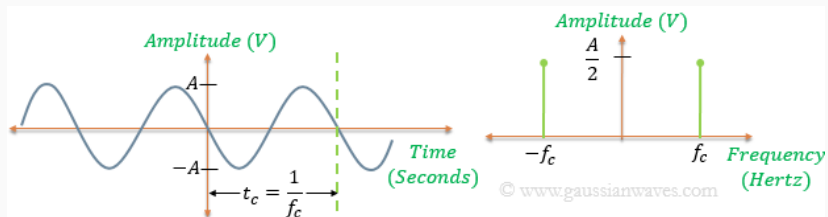
- Časová doména

$$f(t) = A \sin(\omega t + \theta) \quad (1)$$

- Frekvenční doména

$$x(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \quad (2)$$

Základní definice ii



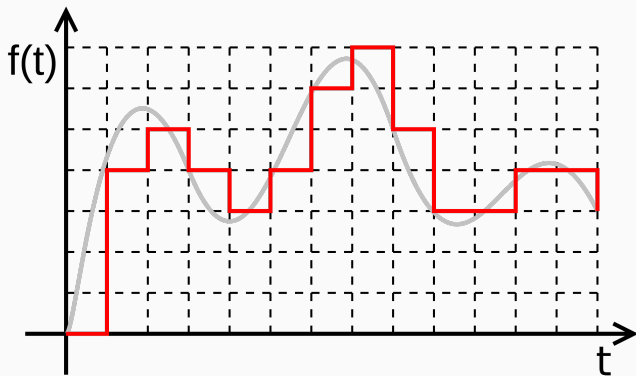
Obrázek 1: Signál ve frekvenční oblasti [5].

- **Zdroj** - generuje zprávu, kterou může být lidský hlas, televizní obraz nebo zvuk z reproduktorů. Zdroj je vstupním snímačem převeden na elektromagnetické vlnění, které se nazývá signál základního pásma nebo informační signál.
- **Vysílač** - upravuje signál základního pásma pro efektivní přenos. Obvykle se skládá z jednoho nebo více subsystémů: vzorkovače, kvantizeru, kodéru a modulátoru.

- **Kanál** - je médium, kterým je přenášen výstupní signál z vysílače. Může to být drát, koaxiální kabel, optické vlákno, rádiové spojení atd. Podle typu kanálu se moderní komunikační systémy dělí do dvou kategorií: drátové komunikační systémy a bezdrátové komunikační systémy.
- **Přijemce** - znovu zpracuje signál přijatý z kanálu tak, že zruší úpravy signálu provedené ve vysílači a kanálu. Úkolem přijímače je získat zprávu ze zkresleného a zašuměného signálu na výstupu kanálu. Přijímač se může skládat z demodulátoru, dekodéru nebo filtru.

Zprávy lze reprezentovat jako

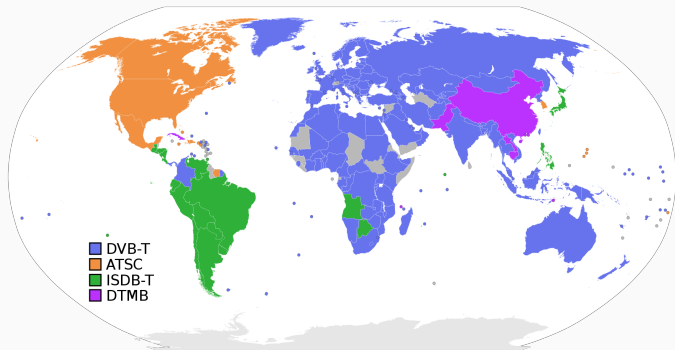
- **Analogové** - jsou charakterizovány údaji, jejichž hodnoty se mění v souvislém rozsahu. Například průběh řeči má amplitudu, která se mění ve spojitém rozsahu. Obrázek je také analogová zpráva.
- **Digital** - se skládají z omezeného počtu symbolů. Například textový soubor je digitální zpráva sestavená z 80 symbolů, které se skládají z 26 písmen, 20 číslic, mezer a interpunkčních znamének. Podobně telegrafická Morseova abeceda je binární zpráva, která obsahuje pouze dva symboly - znaky a mezeru.



Obrázek 2: Digitální a analogové signály [4].

- **Přenos** - proces odesílání dat mezi vysílačem a přijímačem pomocí specifické metody, které rozumí obě strany. Navíc se řídí zavedenou trasou - v tomto případě přenosovým médiem.
- **Přenosové médium** - médium používané k přenosu signálů v telekomunikacích. Parametry použitého média ovlivňují jeho možnosti a použití. Dvě hlavní skupiny jsou kabelová a bezdrátová média.

- **Telekomunikace** - obor zabývající se přenosem informací na dálku, určující způsoby zpracování a kódování informací. Zahrnuje také problematiku telekomunikačních sítí, šíření rádiových vln nebo telekomunikačních zařízení.



Obrázek 3: Typy televizních telekomunikací používané ve světě [6].

Přenos dat

- Komunikační kanál umožňuje přenos dat mezi dvěma účastníky nastaveného spojení.
- Dělení média podle typu použitého přenosu:
 - Drátové - založené na řešeních využívajících optické kabely nebo měděné vodiče.
 - Bezdrátový - k přenosu používá rádiové nebo světelné vlny

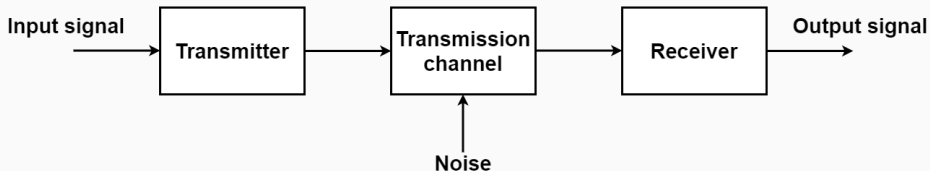
- Přenos lze rozdělit podle povahy přenosu dat:
 - Simplex - v jednom směru
 - Half-duplex - obousměrný nesimultánní přenos
 - Full-duplex - simultánní obousměrný přenos

Komunikační cesta

- Provoz přenosové soustavy probíhá tak, že:
 - Vysílač - na straně odesílatele, zodpovědný za kódování, modulaci, zesílení signálu.
 - Fyzický přenosový kanál
 - Přijímač - na straně příjemce, který je zodpovědný za zesílení, demodulaci a dekódování signálu pro reprodukci původní zprávy.
- Všimněte si, že během přenosu signálu je zpráva náchylná na rušení z vnějšího prostředí, které ovlivňuje zkreslení (šum, rušení).

Komunikační cesta ii

Zjednodušené schéma komunikační cesty se zohledněním prvků přítomných při přenosu dat.



Obrázek 4: Schéma komunikační cesty.

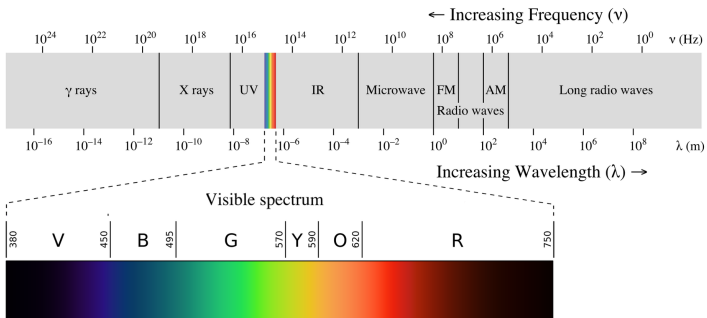
Rádiové vlny

- **Rádiové vlny** – jinak známé jako elektromagnetické vlny - tento jev spočívá v šíření poruch elektrického pole a souvisejícího magnetického pole.
- Výskyt rádiových vln lze pozorovat ve vakuu nebo v jiném prostředí.

Typ	Délka	Frekvence
Rádiové vlny	30 km	10 kHz
Mikrovlnné trouby	30 cm	1 GHz
Infračervený	1 mm	300 GHz
Viditelné světlo	750 nm	400 THz
Ultrafialové světlo	430 nm	700 THz
Rentgen	10 nm	30 PHz
Gamma	10 pm	30 EHz

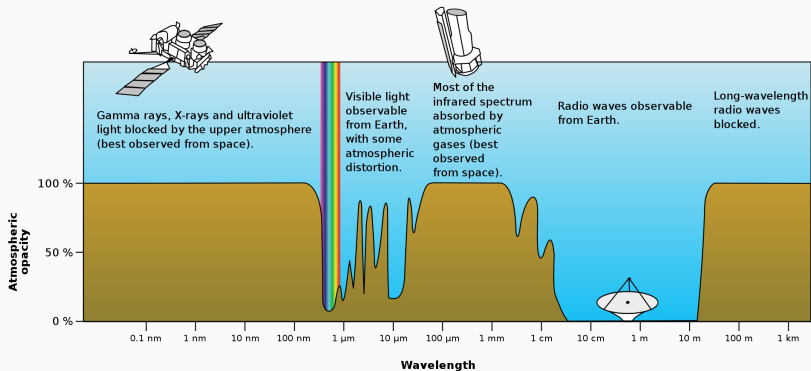
Tabulka 1: Frekvence elektromagnetických vln

Rádiové vlny iii



Obrázek 5: Elektromagnetické spektrum viditelného světla [7].

Rádiové vlny iv



Obrázek 6: Diagram absorpce a rozptylu vln [7].

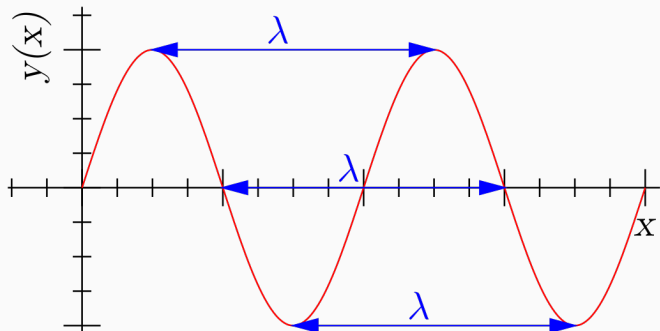
Vlastnosti rádiových vln i

- **Vlnová délka** - je minimální vzdálenost mezi dvěma body stejné fáze kmitání.

$$\lambda = c \cdot T \quad (3)$$

- kde
 - λ - vlnová délka [m].
 - c - rychlost světla ($299\,792\,458 \text{ fracms}$)
 - T - perioda vlny [s].

Vlastnosti rádiových vln ii



Obrázek 7: Vlnová délka [1].

- **Vlnová frekvence** - určuje počet úplných změn elektrického a magnetického pole za sekundu, vyjadřuje se v hertzích.

$$f = \frac{1}{T} \quad (4)$$

- kde
 - f - frekvence [Hz].
 - T - perioda vlny [s].

- **Perioda změny vlny** - doba potřebná k návratu stejné fáze vlny.

$$T = \frac{1}{f} \quad (5)$$

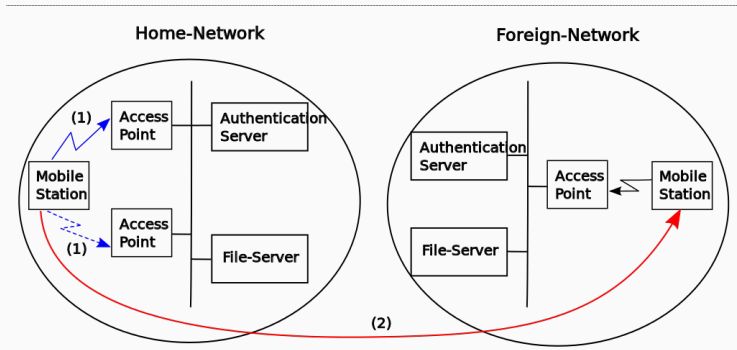
- kde
 - T - perioda vlny [s].
 - f - frekvence [Hz].

- Elektromagnetické vlny
 - Ultrafialové záření
 - Infrared
 - Viditelné světlo
 - Rádiové frekvence.
- Zvukové vlny
- Satelitní signály
- Bezdrátová komunikace ve frekvenčním rozsahu od 3 Hz do 3 THz

Přenos pomocí rádiových vln:

- Vestavěné systémy
 - Rozptýlené
 - Soubor nezávislých zařízení spojených do jednoho logického celku.
 - Nejběžnějšími síťovými prvky jsou počítače a automatizační systémy.
 - Zařízení vybavená softwarem, který sdílí systémové prostředky.
 - Propojení mezi zařízeními prostřednictvím počítačových sítí
 - Dálkově ovládané
 - RC systémy - Dálkové ovládání
 - Provoz je založen na ovládání jednotky z fyzicky vzdáleného místa.
 - Řídící jednotka a pohon s vysílačem a přijímačem
 - Často se používá pro hračky, drony, fotoaparáty atd.

- Mobilní telefonie GSM
- Bezdrátová místní síť (WLAN)
- Bezdrátová komunikace na krátkou vzdálenost
- WWAN (Wireless Wide Area Network) - dosah od 100 metrů do několika kilometrů



Obrázek 8: Přenos signálu v sítích WLAN [3].

Typy používaných frekvencí

- Mikrovlnné trouby > 300 MHz
- Ultrakrátké 30 - 300 MHz
- Krátké 3 - 30 MHz
- Nepřímý 1.5 - 3 MHz
- Průměry 100 - 1500 kHz
- Dlouhé 15 - 100 kHz
- Velmi dlouhá < 15 kHz

Šířka pásma	Frekvence	Vlnová délka
ELF	3 - 30 Hz	100,000 - 10,00 km
SLF	30 - 300 Hz	10,000 - 1,000 km
ULF	0.3 - 3 kHz	1,000 - 100 km
VLF	3 - 30 kHz	100 - 10 km
LF	30 - 300 kHz	10 - 1 km
MF	300 - 3000 kHz	1000 - 100 m

Tabulka 2: Závislost na frekvenci

Šířka pásma	Frekvence	Vlnová délka
HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m
VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m
UHF	300 - 3000 MHz	100 - 10 cm
SHF	3 - 30 GHz	10 - 1 cm
EHF	30 - 300 GHz	10 - 1 mm
THF	0,3 - 3 THz	1 - 0.1 mm

Tabulka 3: Závislost na frekvenci

Pásmo **2,4 GHz** je využíváno mnoha zařízeními, je to jedna z nejoblíbenějších frekvencí.

- Standard Bluetooth
- Sítě Wi-Fi
- Mikrovlnné trouby
- Videokamery
- Monitorovací zařízení
- Bezdrátové telefony

Výhody a nevýhody bezdrátové komunikace

Výhody a nevýhody bezdrátové komunikace i

Nevýhody:

- Omezení šířky pásma z důvodu šířky pásma
- Náchylnost k rušení
- Závislost na počasí
- Zabezpečení.
- Používaná šířka pásma je často sdílená.

Výhody:

- Flexibilita
- Mobilita
- No fyzické přenosové médium drát

Bluetooth

Infračervený

- Norma se vztahuje na přenos dat na vzdálenost < 1 metr.
- Tři typy přenosu
 - AIR – umožňuje víceuživatelské připojení, přenosová rychlost závisí na vzdálenosti přenášených dat.
 - IrDA-D standard - používá se pro přenos dat, dostupné rychlosti od 115 kb/s do 4 Mb/s
 - IrDA-C - obousměrný, umožňuje přenos řídicích příkazů a signálů, používá se v periferních zařízeních.

Bluetooth

- Umožňuje bezdrátové připojení periferních zařízení k mobilním telefonům a počítačům.
- Technologie určená především pro komunikaci na krátkou vzdálenost
- Nízké výrobní náklady
- A standard popsany ve specifikaci IEEE 802.15.1.
- Využívá rádiové vlny ve frekvenčním pásmu ISM 2,4 GHz

Zdroje

- 1 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength>
- 2 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Oscillation>
- 3 - https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
- 4 - https://pl.wikipedia.org/wiki/Sygna%C5%82_cyfrowy
- 5 - <https://www.gaussianwaves.com/2013/12/computation-of-power-of-a-signal-in-matlab-simulation-and-verification/>
- 6 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunication>
- 7 - https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Děkujeme vám za pozornost 😊