

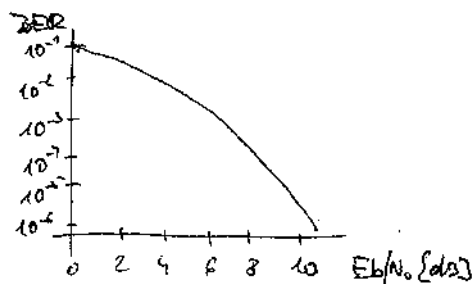
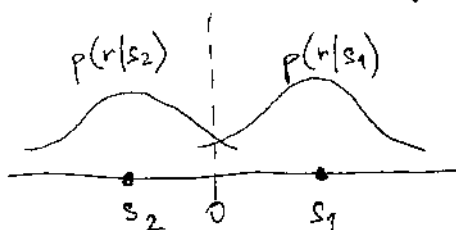
- WORK

## MTRK

- ③ Mezisymbolové přesledy: tvarování signálových prvků, filtr přijímače a vysíláče, typy filtrů pro potlačení ISI, vyrovnavače - princip, zero forcing, MMSE.
- model kanálu: vysílací filtr, kanál + AWGN, přijímací filtr, vztokovač
  - ISI: vznikají v důsledku časového rozptýlení signálu při průchodu kanálem
  - nulové ISI při filtraci sinc (v čase  $\Rightarrow$   $\approx$  oddělení ve spektru)
  - rozšíření frekv. char. filtru  $\Rightarrow$  raised cosine filtr ( $\beta=0 \dots \text{sinc}$ ;  $\beta=\text{rolloff factor}$ )
  - rozdělení mezi RX a TX  $\Rightarrow$  ~~1/2~~  $\Rightarrow$  root raised cosine (RRC) filtry  $\Rightarrow \text{max. SNR, min. ISI}$
  - vyrovnavače - kompenzují frekv. char. kanálu, potlačují ISI, mohou být adaptivní
    - zero forcing: pro 2xRRC a  $H_E(f) = \frac{1}{c(f)}$  má v okamžiku  $t=LT$  nulové ISI, mění se AWGN - problém
    - MMSE (minimum mean square error): minimalizuje str. kvadratickou chybu
    - adaptivní systémy - ruční tréninkové sekvence

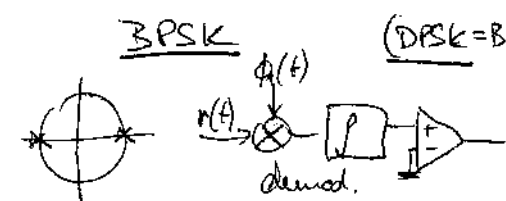
## MTRK

- ④ Detekce signálu: kanál AWGN, příjem binárního signálu, kriteria maximum a posteriori, maximum likelihood (základní princip).
- signál AWGN:  $r(t) = s_m(t) + n(t)$
  - šum nahodý, při korelačním příjmu (přizpůsobení filtraci) pomocí bázi signálu zůstává jeho rozptyl stejný
  - kriterium MAP (maximum a posteriori) - usdán byl ten signál, pro který je post  $P(s_m|r)$  maximální pro  $t_m$  ( $P(s_m|r)$  je post usdán  $s_m$  při pozorování vektoru  $r$ )
  - kriterium ML (maximum likelihood) - využívá věrohodnostní fci  $p(r|s_m)$ , nezávisle na usdaném signálu, pokud jsou všechny signály stejné pravděpodobné
  - příjem binárních signálů

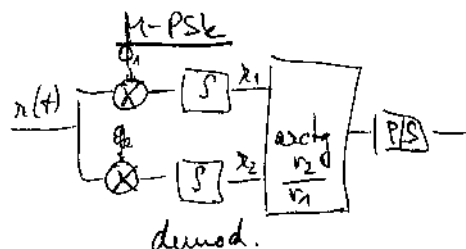
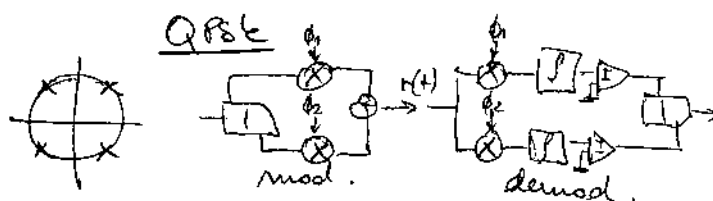


MARK

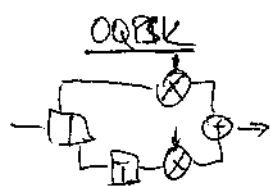
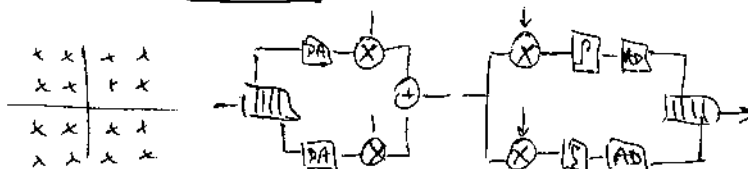
⑤ PSK, BPSK, DPSK, mnohostavová PSK, QPSK, OQPSK, M-QAM: principy modulace a demodulace, konstelační diagramy. CPFSK: princip.



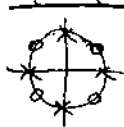
(DPSK = BPSK + dif. kód)



M-QAM



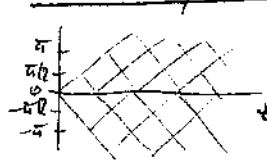
u/4-DQPSK



3/2 pi PSK



CPFSK / MSK



MARK

⑥ Systémy s rozprostřením spektra: princip rozprostření a jeho výhody, rozdělení DSSS/FHSS, rozprostřací posloupnosti, jejich druhy a korelační vlastnosti; synchronizace v DSSS, přijímač Rake-princip, CDMA.

- žádána detekovatelnost, zabezpečení, odolnost proti rušení
- $BW_{SS} \gg BW_{min}$ , rozprostření pomocí kódu ve vysílání, stejný kód v přijímaci
- DSSS - přímé rozprostření
- FHSS - frekvencí slátání - pseudonáhodné změny nosné
- datová posloupnost (bit, úzkopásmová), rozprostřací posloupnost (chip, širokopásmová)
- pseudonáhodné posloupnosti: periodické, nulová stř. hodnota, vyhrazený peak u autokorelace
  - m-sequence (maximum length): LFSR + zpětné vazby, m bitů, perioda  $N=2^m-1$ , dobrá autokorelace, ale špatná vzájemná korelace
  - u/bit & m-sequence: Gold sequence, Kasami sequence - vzájemná korelace nízká (3 diskrétní hodnoty)
- QVSF kódy (Orthogonal Variable Spreading Factor) - pro dělení kanálů (WIS), možná změna SF
- synchronizace - zachycení (korelační vlastnosti sekvence) - hrubý odhad - blokový korelátor (krok  $T_c$ ); sledování (Early-Late synchronizátor) - jemné dohledání
- Rake receiver - přijímač pro více cest šíření (diversita), identifikace cest a jejich optimální kombinace
- CDMA - více uživatelů s různými posloupnostmi; kapacita  $C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{N_0 B (K-1) \cdot P} \right)$   
rušen ost. uživateli

MTRK

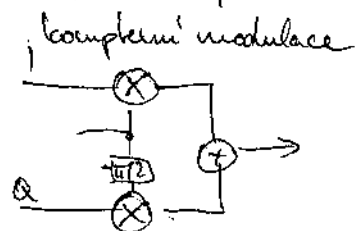
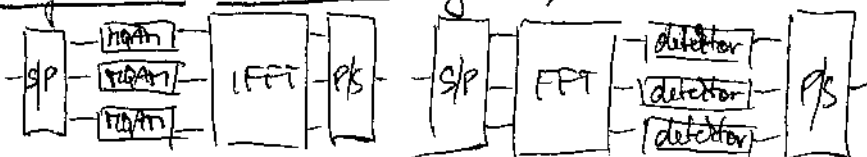
## ⑦ Radiové kanály: únik, charakteristiky kanálů, diverzita

- modely kanálů: AWGN, lineární časově invariantní filtr LTI, lineární časově proměnný filtr
- únik - kolísání úrovně přijatého signálu, způsobený vícecestným šířením či pohybem PK/TX
- vícecestné šíření - kanál časově rozšířen <sup>( $T_m$ )</sup>, vyslaný signál přichází obecně zpožděn a zeslaben; ~~Dopplerův jev~~; Dopplerův jev
- frekvencí selektivita - dle koherentní šířky pásma  $B \ll 1/T_m$
- časová selektivita - Dopplerovské kmitočtové rozšíření, pomalý/rychlý únik
- Rayleighovo rozdělení - pouze odražené signály, nejhorší stav
- Riceovo rozdělení - Gaussovy kanál + odražené signály
- diverzita - prostorová, časová, frekvencí; různé cesty postiheny různými úniky, na straně PK, TX nebo obou (MIMO systémy)

MTRK

## ⑧ OFDM: princip, výhody, modulace pomocí FFT, schema modulatoru a demodulatoru. Cyklické prodloužení, ochranný interval.

- modulace s více nosnými: S/P převod každá paralelní větev modulována na nosný kmitočet - odolné proti úniku (frekv. selektivnímu) i úložným. rušení
- ortogonalita - nosné vzdáleny o  $1/T$



- IFFT symetrické posloupnosti reálná  $\Rightarrow$  keř kvadraturního mod., ale 2x nosných
- ochranný interval - odstraní se ISI u vícecestného šíření, před každým symbolem se po době  $G$  nic nevyšílá
- cyklický prefix - nahraďa  $G$ , cyklicky se opakuje koncová část signálu aktuálního symbolu  $\Rightarrow$  odstraní se ICI (Inter Carrier Interference)
- PAPR (Peak to Average Power Ratio) - u OFDM vysoký, praktický malokdy max.
- evaluace v OFDM - pítku nosné

MRK

⑨ Teorie kódování: blokové a konvoluční kódy, princip turbo kódů.

- lineární blokové kódy  $(n, k)$  ...  $n$  výstup,  $k$  vstup; systematické ... vstup ve výstupu
  - maticový zápis  $\vec{x} = \vec{m} \vec{G}$ , generující matice  $\vec{G}$ , kontrolní matice  $\vec{H}$
  - hammingova vzdálenost - počet různých bitů dvou bin. posloupností
  - hammingova váha - počet nenulových prvků
  - min. vzdálenost  $d_{\min} \sim$  počet opravitelných chyb
- konvoluční kódy - seriové, kódový poměr  $R_c = k/n$ 
  - Trellis mařička, Viterbiho algoritmus dekodování
- turbo kódy - využívají zřetězení
  - vnější kód, proládání, vnitřní kód; maximalizace HL poměru
  - klasické dekodéry - hard decision
  - turbo kódy: soft decision, zpětná vazba informace, využívají LLR (log-likelihood ratio)

MRK

⑩ Další: princip časově prostorového kódování, princip TCM, UWB komunikace.

- časoprostorové (space-time) kódy - v MIMO systémech, kóduje se v čase i pro jednotlivé dolazy (antény)  $\Rightarrow$  potlačení problémů vícecestného šíření
- blokové/trellis časoprostorové kódy
- Alamoutiho kódování - blokový ST, uspořádání matice, řádky antény, sloupce ~ čas
- trellis ST - pokročilejší
- TCM - Trellis Coded Modulation - kombinuje kódování a modulaci, redundantní modulační stavy; konvoluční kódování, padány jen některé předchozí
- UWB - Ultra Wide Band
  - šířka pásma  $> 500\text{MHz}$
  - bez použití nosné, jen krátké [ns] pulsy, bez interference
  - pulsy: Gaussův puls  $\sim$ , monocycle  $\sim$ , doublet  $\sim$
  - modulace: PPM, bi-phase, PAM, on-off