

OSNOVI TELEKOMUNIKACIJA (13E032OTS) – ŠKOLSKA 2022/2023

PROJEKAT – TEMA BR. 13– ANALIZA DEMODULACIJE QPSK SIGNALA U SLUČAJU KANALA SA ABGŠ, GREŠKE SINHRONIZACIJE FAZE I UTICAJA MULTI-PATH KANALA – PRIMENA MACHINE LEARNING TEHNIKA NAİVE BAYES, SUPPORT VECTOR MACHINE I LINEARNE REGRESIJE KAO I DRUGIH MACHINE LEARNING TEHNIKA PO IZBORU

Zadatak: Korišćenjem simulacionog modela razvijenog u **MATLAB/OCTAVE/PYTHON** okruženju potrebno je izvršiti analizu procesa demodulacije QPSK signala u slučaju kanala sa ABGŠ, sa i bez grešaka sinhronizacije faze lokalno generisanog nosioca, odnosno uticaja multi-path kanala (kanala sa višestrukom propagacijom). Uporediti rezultate dobijene korišćenjem klasičnog odlučivanja i demodulatora u kome se detekcija simbola (demapiranje) odvija korišćenjem tehnika mašinskog učenja (Naive Bayes i Support Vector Machine, odnosno linearne regresije).

Napomena: Okruženje za rad sami birate.

Opis:

1. Ulazni podaci: Obezbeđena je MATLAB skripta **QPSK_Demapping_Machine_Learning_Data_Generation.m** čijim se pokretanjem dobijaju sledeći podaci:

U fajlu **DataForML.mat**

- Vektor poslatih **QPSK** simbola za definisanu konstelaciju (prikazanu na slici) - **Labele_Kompleksni_simboli** dimenzija $1 \times (65536+2)$ (kompleksni simboli) – generisani niz kompleksnih **QPSK** simbola ($65536 + 2$ simbola) na predaji (realni deo je komponenta u fazi a imaginarni komponenta u kvadraturi signala).
- Vektor rednih brojeva poslatih **QPSK** simbola (od 1 do 4) za definisanu konstelaciju (prikazanu na slici) - **Labele_Redni_brojevi_simbola** dimenzija $1 \times (65536+2)$ (kompleksni simboli) – redni brojevi u konstelaciji za generisani niz kompleksnih **QPSK** simbola ($65536 + 2$ simbola) na predaji.
- Matrica primljenih simbola za 8 različitih vrednosti odnosa E_b/p_N [dB] = 0dB, 3dB, 6dB, 9dB, 12dB, 15dB, 18dB i 21dB u slučaju ABGŠ kanala (idealni slučaj bez faznog offset-a) - **Simboli_na_prijemu_uzorak** dimenzija $8 \times (65536+2)$ (8 vrsta za različite odnose SNR – u svakoj vrsti $65535+2$ simbola na prijemu za datu vrednost SNR). **Napomena: Dati su kompleksni simboli dobijeni odabiranjem u prijemniku nakon optimalnog filtriranja.**
- Matrica primljenih simbola za 8 različitih vrednosti odnosa E_b/p_N [dB] = 0dB, 3dB, 6dB, 9dB, 12dB, 15dB, 18dB i 21dB u slučaju ABGŠ kanala ali kada postoji slučajna greška sinhronizacije faze u opsegu $[-\pi/6, \pi/6]$ - **Simboli_na_prijemu_fazni_offset_uzorak** dimenzija matrice $8 \times (65536+2)$ (8 vrsta za različite odnose SNR – u svakoj vrsti $65535+2$ simbola na prijemu za datu vrednost SNR). **Napomena: Dati su kompleksni simboli dobijeni u prijemniku odabiranjem nakon optimalnog filtriranja.**
- Matrica primljenih simbola za 8 različitih vrednosti odnosa E_b/p_N [dB] = 0dB, 3dB, 6dB, 9dB, 12dB, 15dB, 18dB i 21dB u slučaju postojanja ABGŠ pri prenosu kroz kanal sa višestrukom propagacijom dužine 2 simbola - **Simboli_na_prijemu_multipath_uzorak** dimenzija matrice 8×65536 (8 vrsta za različite odnose SNR – u svakoj vrsti 65535 simbola na prijemu za datu vrednost SNR). **Napomena: Dati su kompleksni simboli dobijeni odabiranjem na prijemu nakon optimalnog filtriranja – BITNO: Prva dva simbola se ne posmatraju na prijemu zbog analize uticaja kanala, tj. posmatra se prijem od 3-eg simbola pa nadalje.**

U fajlu **Data_Klasicno_odlucivanje.mat**

- Matrica donesenih odluka za primljene simbole za 8 različitih vrednosti odnosa E_b/p_N [dB] = 0dB, 3dB, 6dB, 9dB, 12dB, 15dB, 18dB i 21dB u slučaju ABGŠ kanala - **Detektovani_Simboli_na_prijemu_uzorak** dimenzija $8 \times (65536+2)$ (8 vrsta za različite odnose SNR – u svakoj vrsti $65536+2$ simbola na prijemu za datu vrednost SNR). **Napomena: Dat je redni broj simbola u konstelaciji.**
- Matrica donesenih odluka za primljene simbole za 8 različitih vrednosti odnosa E_b/p_N [dB] = 0dB, 3dB, 6dB, 9dB, 12dB, 15dB, 18dB i 21dB u slučaju ABGŠ kanala sa slučajnom greškom sinhronizacije faze u opsegu $[-\pi/6, \pi/6]$ - **Detektovani_Simboli_na_prijemu_fazni_offset_uzorak** dimenzija matrice $8 \times (65536+2)$ (8 vrsta za različite odnose SNR – u svakoj vrsti $65536+2$ simbola na prijemu za datu vrednost SNR). **Napomena: Dat je redni broj simbola u konstelaciji.**
- Matrica donesenih odluka za primljene simbole za 8 različitih vrednosti odnosa E_b/p_N [dB] = 0dB, 3dB, 6dB, 9dB, 12dB, 15dB, 18dB i 21dB u slučaju multi-path kanala sa ABGŠ bez greške sinhronizacije faze na prijemu - **Detektovani_Simboli_na_prijemu_multipath_uzorak** dimenzija matrice 8×65536 (8 vrsta za različite odnose SNR – u svakoj vrsti 65536 simbola na prijemu za datu vrednost SNR). **Napomena: Dat je redni broj simbola u konstelaciji.**

U fajlu **DataPesPeb.mat**

- Krive dobijenih verovatnoće greške za klasično odlučivanje PesTeor (teorijska vrednost za idealni prijemnik u ABGŠ kanalu), Pes (ostvarena vrednost za ABGŠ kanal sa klasičnim odlučivanjem), PesPhase (ostvarena vrednost za ABGŠ kanal sa faznim offset-om sa klasičnim odlučivanjem) i PesMultiPath (ostvarena vrednost za

multi-path kanal sa ABGŠ bez greške sinhronizacije faze u slučaju klasičnog odlučivanja), kao i odgovarajuće verovatnoće greške po bitu.

Napomena #1: Koristi se signaliziranje sa uobličavanjem impulsa sa 32 odbirka po simbolu – objašnjeno u okviru III ciklusa lab. vežbi (realizacija korišćenjem RRC filtera za uobličavanje na predaji i za optimalno filtriranje na prijemu). Ovaj deo priče ne morate da uzimate u obzir – dobili ste uzorak sa kojim treba da radite.

2. Primena tehnika mašinskog učenja za potrebe odlučivanja na prijemu QPSK signala (nakon odabiranja u prijemniku). Potrebno je primeniti tehnike mašinskog učenja *Naïve Bayes (NB)* i *Support Vector Machine (SVM)* za slučaj **ABGŠ** kanala sa i bez greške sinhronizacije faze prijemnika, odnosno *Naïve Bayes (NB)*, *Support Vector Machine (SVM)* i linearne regresije (**LR**) za slučaj *multi-path* kanala, a možete koristiti i druge tehnike po vašem izboru. **Napomena:** Pretraživanjem *Matlab* help-a za pojam “Supervised Learning (Machine Learning) Workflow and Algorithms” dobija se strana na kojoj je objašnje proces primene tehnika mašinskog učenja, treba posmatrati navedene algoritme u slučaju klasifikacije. Opisane su sve funkcije za obučavanje (koriste se funkcije kojim se za definisani uzorak i labele dobija obučeni algoritam pod imenom koje vi zadajete. Za **SVM** možete koristiti Kernel funkcije oblika **2D Gasuss-a**), verifikaciju (u Help-u je opisano kako se proverava da li je obučavanje uspešno obavljeno) i predikciju (obučeni algoritam se koristi za odlučivanje na delu uzorka koji nije korišćen za obučavanje kako bi se procenile performance obučenog algoritma).

- Za slučaj **ABGŠ** kanala sa i bez greške sinhronizacije formirate uzorak za obučavanje i određujete uspešnost rada algoritma na dva načina:
 - (1.1) Za slučaj **ABGŠ** kanala i **ABGŠ** kanala sa greškom sinhronizacije faze uzorak za obučavanje formirate od po 20000 prvih simbola za svaki od **8** odnosa **SNR** (dobija se uzorak dužine 160000 simbola) uz pridružene labele – koristite labele kao prave simbole sa predaje (**Labele_Kompleksni_simboli**) ili redne brojeve (**Labele_Redni_brojevi_simbola**) za oba algoritma za mašinsko učenje (**NB** i **SVM**). Nakon obučavanja možete raditi verifikaciju sa po narednih 5000 simbola (nakon prvih 20000 korišćenih za obučavanje) za svaki **SNR** (ukupno 40000 simbola sa labelama).
Određivanje performansi se obavlja za svaki odnos **SNR** nezavisno - koristite po 25000 narednih simbola (nakon 25000 korišćenih za obučavanje i verifikaciju – tj. od 25001 do 50000 simbola iz matrice na prijemu) za svaki odnos **SNR** i proveravate uspešnost klasifikacije – dobija se matrica konfuzije. Za određivanje matrice konfuzije koristi se poređenje dobijenih simbola nakon odlučivanja korišćenjem **ML** algoritma i poznate informacije koji simboli su poslali (poslati 25001-50000 simbola – za sve **SNR** i slučajeve: **ABGŠ** kanal i **ABGŠ** kanal sa greškom sinhronizacije faze šalju se isti simboli – kompleksni simboli **Labele_Kompleksni_simboli**, odnosno njihovi redni brojevi **Labele_Redni_brojevi_simbola**).
 - (2.1) Uzorak za obučavanje i verifikaciju se formira od 20000 prvih odnosno 5000 narednih simbola ali samo za **SNR** vrednosti **3dB, 6dB, 9dB i 12dB** (60000 simbola za obučavanje i 15000 za verifikaciju).
Određivanje performansi se obavlja isti način kao i kod slučaja (1.1) za svaki odnos **SNR** nezavisno - koristite po 25000 simbola (tj. od 25001 do 50000 simbola iz matrice na prijemu) za svaki odnos **SNR** i proveravate uspešnost klasifikacije – dobija se matrica konfuzije.
- Za slučaj *multi-path* kanala sa **ABGŠ** formirate uzorak za obučavanje i određujete uspešnost rada algoritma:
 - Za slučaj **multi-path** kanala sa **ABGŠ** uzorak za obučavanje formirate tako što za simbole od 3 do 20003 od početka formirate matricu ulaza 3x20000 gde u koloni jedan imate simbole 1 do 3, u koloni 2 imate simbole 2 do 4 itd, tj. za svaki simbol od 3 do 20003 imate na ulazu prethodna dva simbola i taj simbol- Ovo radite za svaki od **8** odnosa **SNR** (dobija se uzorak dužine 3x160000 simbola) – koriste se labele za simbole 3 do 20003 (za svaki **SNR**) kao prave simbole sa predaje (**Labele_Kompleksni_simboli**) ili redne brojeve (**Labele_Redni_brojevi_simbola**) za posmatrane algoritme za mašinsko učenje (**NB** i **SVM**). Nakon obučavanja možete raditi verifikaciju sa po narednih 5000 simbola (nakon prvih 20000 korišćenih za obučavanje) za svaki **SNR** (uzorak sa ukupno 3x40000 simbola sa labelama).
 - Dodatno, možete koristiti algoritam linearne regresije (**LR**) da na osnovu prethodna dva i trenutnog odbirka na prijemu (tj. upravo onoga što imate kao uzorak za obučavanje i verifikaciju) predvidite vrednost trenutnog simbola i potom izvršite klasično odlučivanje ili da na dobijene predikcije primenite obučene klasifikatore (**NB** i/ili **SVM**) za **ABGŠ** kanal.

Za oba slučaja određivanje performansi se obavlja za svaki odnos **SNR** nezavisno - koristite po 25000 narednih simbola (nakon 25000 korišćenih za obučavanje i verifikaciju – tj. od 25004 do 50004 simbola iz matrice na prijemu – ulaz se kao i za obučavanje i verifikaciju formira kao matrica 3x25000) za svaki odnos **SNR** i proveravate uspešnost klasifikacije – dobija se matrica konfuzije. Za određivanje matrice konfuzije koristi se poređenje dobijenih simbola nakon odlučivanja korišćenjem **ML** algoritma i poznate informacije koji simboli su poslali (poslati 25004-50004 simbola – za sve **SNR** i slučajeve: **ABGŠ** kanal i **ABGŠ** kanal sa greškom sinhronizacije faze šalju se isti simboli – kompleksni simboli **Labele_Kompleksni_simboli**, odnosno njihovi redni brojevi **Labele_Redni_brojevi_simbola**).

Tabela – Matrica konfuzije.

	Verovatnoća da je detektovan prvi simbol	Verovatnoća da je detektovan drugi simbol	Verovatnoća da je detektovan treći simbol	Verovatnoća da je detektovan četvrti simbol
Poslat prvi simbol				
Poslat drugi simbol				
Poslat treći simbol				
Poslat četvrti simbol				

Napomena: Dodatne detalje, uputstva i pomoć možete dobiti u terminu konsultacija koji možete zakazati putem maila. Konsultacije su poželjne – cilj projekata nije provera znanja već da što više naučite