

Univerzitet u Banjaluci
Elektrotehnički fakultet
Katedra za opštu elektrotehniku
Osnovi digitalne obrade signala

Domaći zadatak 2

Detekcija QRS kompleksa u EKG signalu pomoću STFT

Objavljen: 06.06.2023. godine

Rok za predaju: 20.06.2023. godine

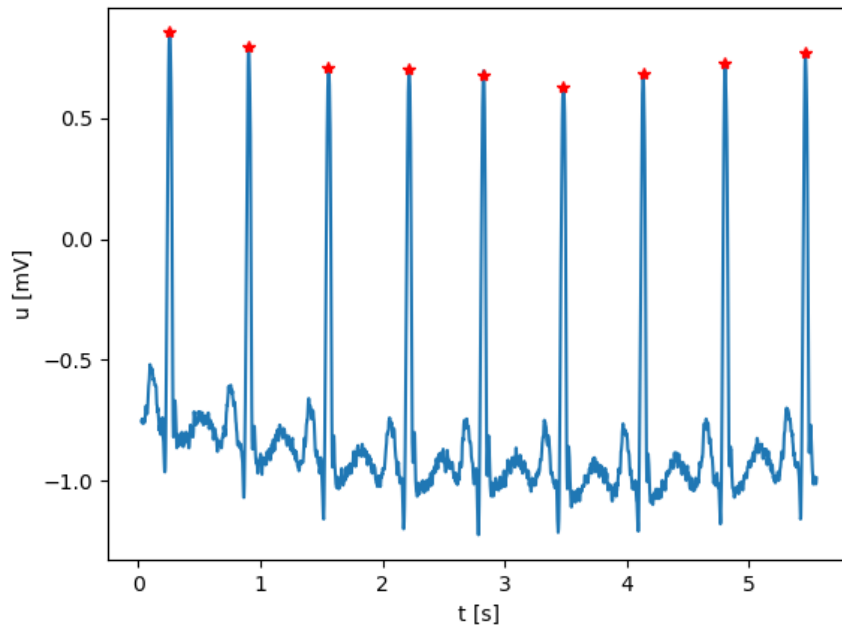
EKG signal

Elektrokardiogram (EKG) je grafički prikaz električne aktivnosti srca detektovane korištenjem elektroda koje se postavljaju na kožu pacijenta. Za električni signal koji ove elektrode detektuju korist ćemo termin EKG signal. Na Slici 1 je prikazan jedan primjer EKG signala na kojem vidimo da se on sastoji iz nekoliko karakterističnih talasnih oblika koji se kvaziperiodično ponavljaju.

Najkarakterističniji talasni oblik u EKG-u je QRS kompleks. On odražava električnu aktivnost srca tokom kontrakcije komora pa trenuci u kojima se pojavljuje i njegov oblik daju značajne informacije o stanju u kojem se srce nalazi. Na Slici 2 je prikazan primjer QRS kompleksa na kojem su označeni njegovi karakteristični dijelovi (Q-, R- i S-talasi), kao i talasni oblici koji mu prethode i slijede ga, P- i T-talasi. P talas, QRS kompleks i T talas čine jedan srčani ciklus. Detekcija QRS kompleksa je osnova svih algoritama za automatsku analizu EKG-a.

Detekcija QRS kompleksa

Intuitivno, QRS-kompleks je moguće detektovati detekcijom vršnih vrijednosti koje odgovaraju vrhu R-talasa. Međutim, zbog prisustva šuma i postojanja varijacija u obliku EKG-a u kojima vrh R-talasa nije dominantan, kao što je, na primjer, invertovani QRS-kompleks, bolje je detekciju bazirati na činjenici da R-talas predstavlja naglu promjenu vrijednosti EKG signala. Nagle promjene impulsnog oblika se lako uočavaju kao širokopojasni porast energije u vremensko-frekvencijskoj reprezentaciji signala. Zbog toga za detekciju QRS-kompleksa možemo koristiti sistem prikazan blok-dijagramom



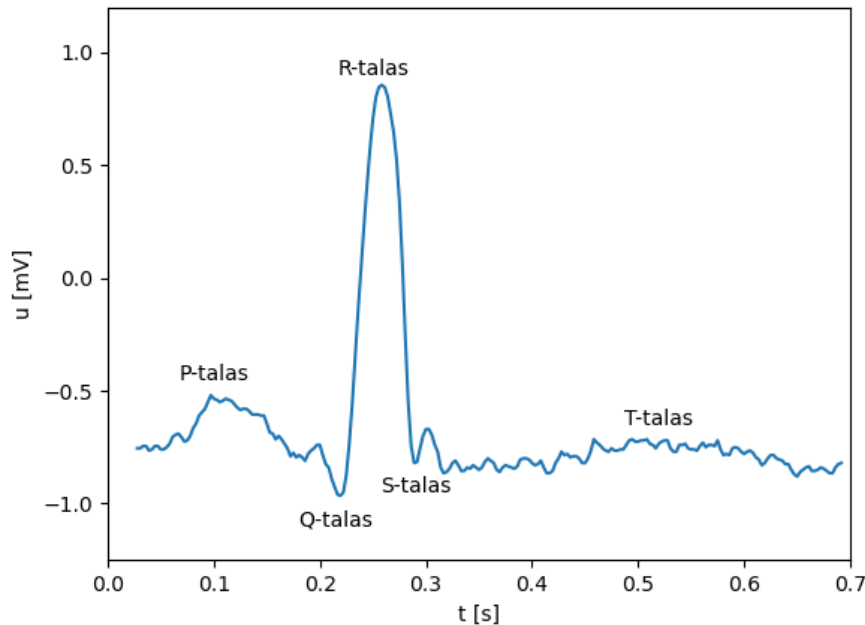
Slika 1: Primjer EKG signala.

na Slici 3. Postupak detekcije se sastoji iz dvije faze: faze preprocesiranja i faze odlučivanja.

Faza preprocesiranja počinje određivanjem vremensko-frekvencijske reprezentacije signala, pomoću vremenski zavisne Furijeove transformacije (STFT). Da bi se naglasile slabije promjene moguće je logaritamski transformisati amplitudski spektrogram,

$$Y(n, k) = \ln(1 + \gamma|X(n, k)|). \quad (1)$$

Sljedeći korak je određivanje brzine promjene spektra između dva sukcesivna prozora analize. Brzina promjene se može računati na čitavom frekvencijskom opsegu $[0, F_s/2]$ ili u nekom podopsegu od interesa i kao rezultat treba da se dobije novi signal čije vrijednosti odgovaraju brzini promjene spektra između dva sukcesivna prozora analize. Na primjer, ukoliko se spektar u posmatranim prozorima malo promijenio, brzina promjene treba da bude bliska nuli. Sa druge strane ukoliko se spektar promijenio tako da je ukupna energija originalnog signala porasla ili se smanjila, brzina promjene treba da ima pozitivnu, odnosno, negativnu vrijednost. Pošto nas interesuje brzi porast energije signala, uobičajeno je da se brzina promjene zatim nelinearno transformiše tako da se očuvaju ili naglase promjene koje ukazuju na porast energije EKG signala. Konačno, da bi se olakšao posao u fazi odlučivanja, moguće je brzinu promjene dodatno transformisati tako da se, na

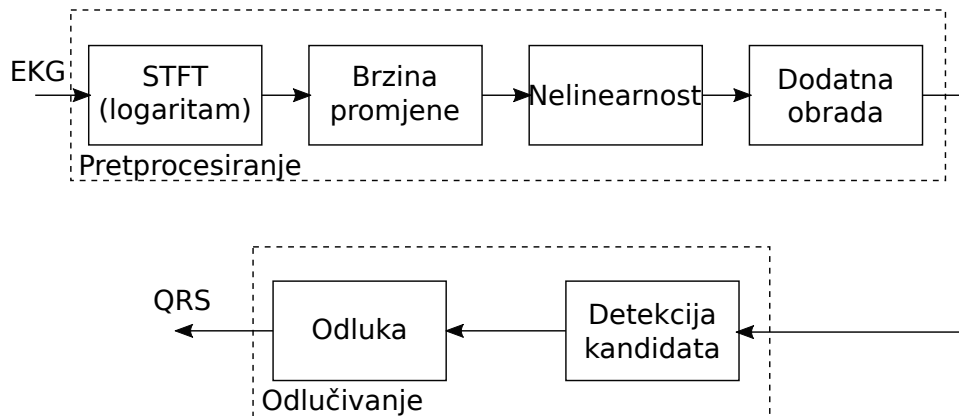


Slika 2: Primjer QRS kompleksa u EKS signalu.

primjer, uklone male fluktuacije i naglase impulsi koji ukazuju na brze promjene spektra. Izlaz iz faze preprocesiranja treba da bude signal koji će na mjestima QRS kompleksa imati impulse koje je lako pronaći poređenjem sa pragom odlučivanja ili korištenjem detektora vršnih vrijednosti.

U fazi odlučivanja se prvo detektuju kandidati za QRS komplekse nakon čega se provjerava da li pojedini kandidati zadovoljavaju uslove potrebne da bi se označili kao QRS kompleksi. Detekcija kandidata se tipično bazira na nekom algoritmu za detekciju vršnih vrijednosti u signalu. Ovaj korak se može realizovati na različite načine i studentima je prepušteno da sami izaberu konkretan algoritam. Prije prelaska na sljedeći korak, moguće je redukovati broj kandidata znajući da je fiziološki nemoguće da se 200 ms nakon detektovanog QRS kompleksa pojavi novi QRS kompleks.

Konačna odluka da li se zaista radi o QRS kompleksu se takođe može implementirati na različite načine. Jedan pristup je da se koristi adaptivni algoritam koji na osnovu vršnih vrijednosti detektovanih u prethodnom koraku uči vrijednost praga koji se koristi za odlučivanje. Ovaj algoritam poredi trenutnu vršnu vrijednost, A_P , sa pragom θ , i ukoliko je vršna vrijednost veća od praga klasifikuje se kao QRS kompleks. U suprotnom se vršna vrijednost klasifikuje kao šum. U prvom slučaju se ažurira nivo QRS



Slika 3: Blok-dijagram QRS detektora.

kompleksa prema jednačini

$$L_P(n) = \lambda_P L_P(n-1) + (1 - \lambda_P) A_P, \quad (2)$$

a u drugom nivo šuma prema jednačini

$$L_N(n) = \lambda_N L_N(n-1) + (1 - \lambda_N) A_P. \quad (3)$$

Konačno, vrijednost praga se izračunava prema jednačini

$$\theta = L_N + \tau (L_P - L_N). \quad (4)$$

Pošto je potrebno nekoliko iteracija da se ovim algoritmom pronađe dobra vrijednost praga, algoritam neće korektno detektovati nekoliko prvih QRS kompleksa u signalu koji se analizira.

Podaci

U ovom zadatku ćete koristiti odabrane signale iz MIT-BIH Arrhythmia baze EKG signala. Kompletna baza sadrži 48 polusatnih EKG signala sa oznakama koje su unijeli kardiolozi. Frekvencija odmjera vanja signala je 360 Hz, vrijednosti signala su iz opsega ± 5 mV i kvantizovani su sa 11 bita.

Dati fajl `ecg.zip` sadrži izbor od 10 signala iz MIT-BIH Arrhythmia baze u `.npz` formatu. Ime fajla je originalni identifikator signala u MIT-BIH Arrhythmia bazi. Fajlove u `.npz` formatu je moguće učitati korištenjem funkcije `numpy.load` na sljedeći način:

```
data = np.load('100.npz')
```

nakon čega `data[signal]` sadrži vektor odmjera ka signala, a `data[annotation]` vektor indeksa QRS kompleksa u vektoru odmjera ka signala.

Mjere performansi

Performanse detektora QRS kompleksa se ocjenjuju korištenjem dvije veličine: osjetljivosti,

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

i preciznosti (pozitivne prediktivnosti)

$$P = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (6)$$

gdje je TP broj tačno pozitivnih detekcija, FP broj lažno pozitivnih detekcija, a FN broj lažno negativnih detekcija QRS kompleksa.

Zadaci

1. Napisati funkciju u Pythonu koja učitava EKG signal i anotacije iz datog fajla. Specifikacija funkcije je sljedeća:

```
def read_ecg(filepath):  
    '''  
    Poziv funkcije: ecg, annot = read_ecg(filepath)  
  
    Ulazni argumenti:  
        filepath - putanja do fajla  
  
    Izlazni argumenti:  
        ecg - odmjerci EKG signala  
        annot - vektor sa pozicijama QRS kompleksa  
    '''
```

2. Napisati funkciju u Pythonu koja crta EKG signal i označava QRS komplekse, slično kao na Slici 1. Vremenska osa treba da bude označena u sekundama. Specifikacija funkcije je sljedeća:

```
def plot_ecg(ecg, qrs):  
    '''  
    Poziv funkcije: plot_ecg(ecg, qrs)  
  
    Ulazni argumenti:  
        ecg - odmjerci EKG signala  
        qrs - vektor sa pozicijama QRS kompleksa  
    '''
```

3. Predložiti realizacije blokova za određivanje brzine promjene spektra, njene nelinearne transformacije i dodatne obrade. Argumentovati prijedloge u svjetlu pripreme signala za detekciju kandidata za QRS komplekse. Vaša faza pretprocesiranja ne mora da ima sve navedene korake ili može da ima dodatne korake, ali svi izbori moraju da budu argumentovani.
4. Implementirati i demonstrirati predložene korake pretprocesiranja EKG-signala na karakterističnim primjerima datih signala. Uporedno prikazati reprezentativan uzorak ulaznog signala, njegovog (logaritamski transformisanog) spektrograma i odgovarajućih signala na izlazima pojedinih blokova.
5. Pokazati uticaj parametara pretprocesiranja: dužine i koraka prozora analize za STFT, broja tačaka FFT, parametra γ logaritamske transformacije i parametara blokova za određivanje brzine promjene spektra i njenu transformaciju na rezultat pretprocesiranja. Na ovom mjestu treba eksperimentalno pokazati efektivnost isključivanja ili dodavanja koraka pretprocesiranja.
6. Predložiti i implementirati blok za detekciju kandidata za QRS komplekse.
7. Implementirati blok za odlučivanje da li kandidati detektovani u prethodnom koraku odgovaraju QRS kompleksima prema opisu u uvodu. Izabrati $\lambda_P = \lambda_N = 0.125$ i $\tau = 0.25$.
8. Ilustrovati rad kompletnog detektora na datim signalima. Korištenjem, funkcije `plot_ecg` prikazati reprezentativne uzorke signala sa označenim detekcijama QRS kompleksa za primjere dobrih i loših detekcija. Vodite računa o tome da neki koraci pretprocesiranja unose kašnjenje ili neodređenost u vremenu, kao i da način detekcije vršnih vrijednosti takođe može unijeti pomak u odnosu na poziciju QRS kompleksa.
9. Kvantitativno ocijeniti performanse detektora koristeći date signale i ručno anotirane pozicije QRS kompleksa. Za svaki signal tabelarno prikazati ukupan broj QRS kompleksa, broj lažno negativnih i lažno pozitivnih detekcija, te vrijednosti osjetljivosti i preciznosti. Pošto je algoritmu za odlučivanje potrebno nekoliko iteracija da nauči dobre vrijednosti pragova, prve 2 sekunde signala ne treba uzeti u obzir prilikom kvantitativne analize.
10. **Bonus.** Analizirati uticaj pojedinih blokova i njihovih parametara na performanse detektora.

Detalji predaje radova: Nakon završetka kompletnog projekta, najkasnije do navedenog roka, predaje se Jupyter notebook koji sadrži sve važne detalje o projektovanju i implementaciji vašeg detektora:

- Programski kod,
- Grafike generisanih signala,
- Spektre/spektrograme signala,
- Obrazloženja izbora blokova za obradu i njihovih parametara,
- Analizu dobrih strana i nedostatatka,
- Prijedloge poboljšanja,
- Uputstvo za upotrebu.

Način rada i ocjenjivanje: Zadatak se radi individualno. Međusobne konsultacije između studenata i sa predmetnim nastavnikom i asistentom su dozvoljene, ali svaki student treba da preda originalno rješenje. U slučaju prepisivanja odgovarajući radovi će biti ocijenjeni sa nula poena.

Oprema: Za rad na ovom zadatku studentima je na raspolaganju računarska oprema u Laboratoriji za digitalnu obradu signala.

Predmetni nastavnik i asistent