

Poročilo o implementaciji detektorja QRS kompleksov

Lucija Fekonja

12. december 2023

Povzetek

V sklopu prve seminarske naloge pri predmetu Obdelava biomedicinskih signalov in slik smo implementirali detektor QRS kompleksov. V našem primeru smo to naredili z uporabo dveh elektrod, pri čemer smo sledili pristopu, predstavljenemu v članku *A QRS Complex Detection Algorithm Using Electrocardiogram Leads* [1]. Razviti detektor smo nato evalvirali na podatkovnih bazah MIT/BIH Arrhythmia Database in na Long Term ST Database, pri čemer smo analizirali njegovo občutljivost in natančnost pri zaznavanju QRS kompleksov v elektrokardiogramih.

1 Uvod

V okviru seminarske naloge smo implementirali algoritem za zaznavanje srčnega utripa, ki temelji na združitvi dveh detekcijskih modulov. Za izboljšanje robustnosti detektorja smo uporabili večkanalni elektrokardiogram (EKG), kar nam omogoča zmanjšanje vpliva na delovanje detektorja v primeru, da ima en izmed kanalov signale nizke kakovosti, kot so nizka amplituda ali šum.

Detektor je sestavljen iz treh ključnih delov: filtra, glavnega detekcijskega modula ter sekundarnega detekcijskega modula, ki se aktivira v primeru, ko glavni modul ne more jasno definirati, ali se je srčni utrip zgodil ali ne. Implementacijo smo izvedli v okolju MATLAB, pri čemer smo uporabili podatke iz MIT-BIH baze in LTSTDB. Za vsak zapis smo pridobili *X.hear*, *X.dat* in *X.atr* datoteke, ki smo jih nato pretvorili v MATLAB formate s pomočjo ukaza **wfdb2mat -i X**. S tem smo ustvarili *Xm.mat* datoteko, ki smo jo integrirali v naš detektor srčnega utripa, predstavljen v nadaljevanju poročila.

2 Metoda

V naši metodi detekcije, detektor sprejme dva vhodna signala, x_1 in x_2 . Pred začetkom detekcije vsak signal prestane filtracijo, ki jo izvajamo s pomočjo **signal_conditioner.mat**. Absolutne vrednosti filtriranih signalov nato seštejemo. Ta kombiniran signal nato vstopi v glavni detektor, imenovan **main_detector**.

`mat`, ki uporablja dva praga za učinkovito zaznavanje QRS kompleksov. QRS kompleks se šteje za zaznanega, če signal v zadnjih 180 *ms* preseže prag v dveh do štirih točkah. V primeru, da preseže prag v več kot štirih točkah, smatramo zadnjih 180 *ms* za šum in prilagodimo pragove navzgor. Nasprotno, če ni bilo zaznanih presekov, znižamo pragove.

V primeru zaznanih presekov v le eni točki uporabimo sekundarni detektor, implementiran v datoteki `secondary_detector.mat`. Ta detektor deluje na podlagi energijskega signala, ki je izračunan iz že filtriranega signala.

2.1 Pripravljalnik signala

Preden lahko signala x_1 in x_2 uporabimo v detektorju, ju moramo ustrezno prilagoditi. Zato na vsakem od njiju najprej uporabimo nizkoprepustni filter

$$y(n) = \frac{1}{4}x(n-2) + \frac{1}{2}x(n-1) + \frac{1}{4}x(n),$$

katerega prenosna karakteristika je

$$H(z) = \frac{(1+z)^2}{4z^2}.$$

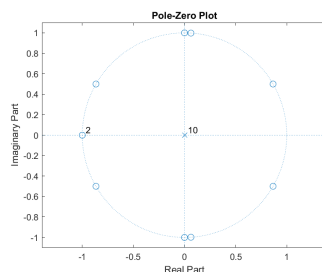
Nato signal pošljemo skozi omrežni filter, ki se znebi nepotrebnega šuma. Njegova diferencialna enačba in prenosna funkcija sta

$$y(n) = x(n-2) - 2 \cos\left(\frac{60\pi}{125}\right) x(n-1) + x(n), \quad H(z) = \frac{1 - 2 \cos\left(\frac{60\pi}{125}\right) z + z^2}{z^2}.$$

Signal pošljemo skozi še zadnji, odvodni filter

$$y(n) = x(n) + x(n-6), \quad H(z) = \frac{1+z^6}{z^6}.$$

Vsi trije filtri so stabilni. Tudi njihov produkt je stabilen, kot je razvidno iz Slike 1. V glavni detektor pošljemo vsoto absolutnih obeh filtriranih signalov.



Slika 1: Ničle in poli prenosne karakteristike filtra v z -ravnini.

2.2 Glavni detektor

Glavni detektor prejme filtriran signal in oceni, kolikokrat ta preseže detekcijski prag (DT). QRS kompleks zazna, če signal v zadnjih 180 ms preseže DT dva do štirikrat. Vrednost DT je določena na podlagi baznega praga (BT). Postopek določanja DT temelji na naslednjih pravilih.

Če je v zadnjih 180 ms prišlo do več kot štirih presečišč med signalom in DT , smo v območju šuma. V tem primeru dvignemo BT in DT na

$$\begin{aligned} BT &= 1.5 \times BT \\ DT &= \max(0.5 \times \max(peak), BT), \end{aligned}$$

kjer je $peak$ maksimum zadnjih 180 ms signala.

Če signal ni presegel praga v 180 ms , se mora ustrezno znižati na polovico vrednosti BT . Če presečišča ni 360 ms , se DT zniža na višjo od vrednosti $0.75 \times DT$ oziroma $0.5 \times BT$.

Ko je QRS kompleks zaznan, se BT in DT povečata:

$$\begin{aligned} BT &= 0.75 \times BT + 0.25 \times (peak), \\ DT &= \max(0.5 \times (peak), BT). \end{aligned}$$

Kot točko, v kateri je QRS kompleks zaznan, smo označili prvi indeks, pri katerem je prišlo do presečišča, v kolikor detektor ni zaznal srčnega utripa vsaj 180 ms pred tem.

V vseh ostalih primerih se BT in DT ohranita.

2.3 Sekundarni detektor

V glavnem detektorju smo izpusti možnost, da signal seka prag natanko enkrat. V tem primeru se uporabi sekundarni detektor, ki sprejme signal filtriran z energijskim filtrom. Ta je implementiran v `energy_filter.mat`. Enak je povprečju kvadratov zadnjih osmih sekund. Energijski signal nato primerjamo z detekcijskim pragom energijskega signala (ET).

Kadar signal preseže ET , se slednji zviša na

$$ET = 4 \times (0,75 \times ET + 0,5 \times QRS(peak)). \quad (1)$$

Cilj je, da detektor ne zazna utripa nadaljnjih 200 ms . Če zazna, se prag ponovno dvigne, kot je opisano zgoraj 1, in indeks, ki ga bomo dodali kot točko QRS kompleksa, se spremeni iz prejšnjega presečišča na trenutno presečišče. Ta postopek se ponovi. Po 200 ms brez novega presečišča se ET zniža na petino svoje vrednosti.

Če detektor ni zaznal utripa 1 s , se ET zniža na polovico, v vseh ostalih primerih pa ostane enak.

Glavni detektor ne shrani vseh točk, v katerih bi lahko bil QRS kompleks. Sekundarni detektor dopolnjuje glavnega tako, da v množico vseh QRS kompleksov zaznanih z glavnim detektorjem doda tiste QRS komplekse zaznane s sekundarnim, katerih razlika od vseh je večja od neke določene vrednosti. V našem primeru več kot $\frac{2 \times F_s}{5}$ vzorcev.

3 Rezultati

Detektor smo testirali na bazah MIT/BIH Arrhythmia Database in Long Term ST Database. Algoritem smo evalvirali glede na občutljivost Se in natančnost $P+$. Na MIT/BIH bazi smo dobili naslednje rezultate:

$$TP = Nn + Vn + Fn = 80624 + 5520 + 8507 = 94651$$

$$FN = No + Vo + Fo = 12788 + 1716 + 339 = 14843$$

$$FP = On = 12297$$

Občutljivost je delež pravilno zaznanih QRS kompleksov med vsemi dejanskimi QRS kompleksi: $Se = \frac{TP}{TP+FN} = 86.4\%$. Natančnost je delež vseh pravilno zaznanih QRS kompleksov med vsemi zaznanimi QRS kompleksi: $P+ = \frac{TP}{TP+FP} = 88.5\%$.

Na LTSTDB bazi smo dobili naslednje rezultate:

$$TP = Nn + Vn + Fn = 6884791 + 51550 + 311 = 6936652$$

$$FN = No + Vo + Fo = 1939466 + 21373 + 289 = 1961128$$

$$FP = On = 1438796$$

Občutljivost je delež pravilno zaznanih QRS kompleksov med vsemi dejanskimi QRS kompleksi: $Se = \frac{TP}{TP+FN} = 78.0\%$. Natančnost je delež vseh pravilno zaznanih QRS kompleksov med vsemi zaznanimi QRS kompleksi: $P+ = \frac{TP}{TP+FP} = 82.8\%$.

4 Zaključek

V implementaciji detektorja QRS kompleksov smo združili signale dveh elektrod, kar se izkaže za izjemno koristno v primerih, ko je eden od signalov slab zaradi šuma ali nizke amplitude. Na začetku smo oba signala filtrirali s filtrom, ki je zmanjšal šum in nihanje ničelnega nivoja ter hkrati ojačal frekvence v območju med 9 in 30 Hz. Uporaba obeh signalov omogoča robustnejšo detekcijo srčnih utripov in izboljšuje zanesljivost celotnega sistema.

Detektor deluje s pomočjo dveh detekcijskih modulov. Glavni detektor je bil izbran zaradi svoje učinkovitosti in enostavnosti. Njegov pristop, kjer se vsako prečkanje praga obravnava kot potencialni trenutek srčnega utripa, omogoča hitrejšo detekcijo srčnih utripov. Prilagodljivost sistema je dosežena s hitrim prilagajanjem obeh pragov glede na amplitudo signala. Zvišanje praga ob zaznavi šuma prispeva k izločitvi intervalov, ki so posledica šuma, kar povečuje natančnost detekcije.

Sekundarni detektor se uporablja v primerih, ko glavni detektor ne zazna srčnega utripa. Uporablja energijski signal za boljše razlikovanje med QRS kompleksom in motnjami, kot so šum in nihanje ničelnega nivoja. Rezultat uporabe sekundarnega detektorja je zmanjšanje lažno negativnih rezultatov, kar dodatno povečuje zanesljivost sistema.

Prva šibka točka se pojavlja, ko oba vhodna signala vsebujeta šum. V tem primeru detektor deluje podobno kot detektor z enim samim vhodnim signalom. Druga pomembna pomanjkljivost naše implementacije je, da detektor ne deluje v realnem času in je prepočasen. Za vsak posamezen signal iz MIT/BIT baze potrebuje povprečno eno sekundo, medtem ko za signal iz baze LTSTDB porabi celo minuto in pol. Časovna učinkovitost bi se lahko izboljšala z uporabo premikajočega se okna namesto preverjanja vseh točk vhodnega signala, vendar bi to morda kompromitiralo občutljivost in natančnost detektorja.

Literatura

- [1] JCTB Moraes (1986) *A QRS Complex Detection Algorithm Using Electrocardiogram Leads*, Escola Politcnica da Universidade de S5o Paulo, SBo Paulo, Brazil.