

Algorithms for extracting the QRS complex from the ECG

Jabborov Anvar Mansurjonovich

e-mail: anvarj1987@gmail.com

Namangan Institute of Engineering Technologies

Abstract. ECG is a diagnostic signal recorded on the patient's body at standard electrode locations, which reflects the electrical activity of the heart muscle. One of the main features of the ECG is a pulse waveform called the QRS complex. This complex corresponds to the time of depolarization of the heart ventricles and is of important diagnostic importance.

Keywords: QRS complex, differentiation, Pan-Tompkins algorithm, High-pass filter, Wavelet transform

EKGdan QRS kompleksini ajratish algoritmlari.

Jabborov Anvar Mansurjonovich

e-mail: anvarj1987@gmail.com

Namangan muhandislik texnologiyalar instituti

Abstrakt. EKG — bemorning tanasida elektrodning standart joylashuvlarida qayd etiladigan diagnostik signal bo'lib, u yurak mushagina elektr faolligini aks ettiradi. EKGning asosiy xususiyatlaridan biri QRS kompleksi deb ataladigan impulsli to'liq shaklidir. Bu kompleks yurak qorinchalarining depolarizatsiya vaqtiga to'g'ri keladi va muhim tashxisiy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: QRS kompleksi, differensiallash, Pan-Tompkins algoritmi, Yuqori chastotali filtr, Veyvlet almashtirish

QRS kompleksi (odatda 0,1 s dan ortiq davom etmaydi) EKG signallarini qayta ishlash algoritmlari uchun asosiy nuqta hisoblanadi. Bu kompleks:

- Yurak urish tezligi o'zgaruvchanligini tahlil qilish,
- Aritmiya monitoringi,
- Implantatsiya qilinadigan yurak stimulyatorlari,
- EKG signallarini siqish usullari kabi turli ilovalarda qo'llaniladi.

QRSni aniqlash qanchalik aniq va ishonchli bo'lsa, EKG analizatorlarining sifati shunchalik yuqori bo'ladi. Biroq, EKG signallarining o'zgaruvchanligi va turli shovqinlar (elektr uzatish liniyasi shovqinlari, radiochastota shovqinlari, mushak artefaktlari) sababli QRS kompleksini aniqlash murakkab vazifa hisoblanadi. Shu sababli, hozirgi kunda kompyuter yordamida EKG tahlili sohasida olib borilayotgan tadqiqotlar ushbu muammoni hal qilishga qaratilgan.

EKG tahlil qilishda raqamli signallarni qayta ishlash algoritmlaridan foydalaniladi. Har qanday EKGda asosiy ajralib turuvchi komponentlar R to'liqini va QRS kompleksi hisoblanadi.

EKG signallarini tahlil qilish usullari. Elektrokardiologiyada klassik yondashuv — signalning vaqt sohasini tahlil qilish usullaridan foydalanishdan iborat. Bu yondashuv standart EKG o'lchovi, yurak urish tezligini o'lchash, repolarizatsiya dispersiyasini aniqlash kabi turli sohalarda qo'llaniladi.

Biroq, EKG komponentlarining amplitudasi va davomiyligini faqat vaqt domenida tahlil qilish signalning barcha xususiyatlarini aks ettirish uchun yetarli emas. Masalan, QRS kompleksida joylashgan kech potentsiallarni vaqt domeni usullari yordamida aniqlash qiyin.

Shu bilan birga, yurak urish tezligining vaqt domenidagi tahlili RR intervallarining xatti-harakati va parasempatik ta'siri haqida to'liq ma'lumot beradi. Biroq, simpatik tizimning faoliyatini vaqt domeni orqali baholab bo'lmaydi.

Shunday qilib, vaqt va chastota domenlarining kombinatsiyasi EKG tahlilida yanada to'liq natijalar olish imkonini beradi. Veyvlet almashtirish texnikasi EKG komponentlarining vaqt-chastota xususiyatlarini tahlil qilish uchun istiqbolli usullardan biri hisoblanadi.

QRS kompleksini aniqlash muammosi radiotexnika statistikasi nazariyasi doirasida aniqlash va diskriminatsiya qilish muammosi sifatida qaraladi. So‘nggi o‘n yillikda QRSni aniqlash uchun sun‘iy neyron tarmoqlari, genetik algoritmlar, veyvlet almashtirishlar kabi ko‘plab yangi yondashuvlar taklif qilindi.

Keling QRS kompleksini aniqlash uchun zamonaviy va keng qo‘llaniladigan EKG tahlil algoritmlari, shuningdek, klassik yondashuvlar ko‘rib chiqaylik.

Differentsiatsiyaga asoslangan EKG signalining QRS kompleksini aniqlash algoritmlari. Keling, [1] manbada keltirilgan algoritmlarning asosiy turlarini **differensiallash** asosida ko‘rib chiqaylik.

1. Birinchi hosila va amplituda chegarasiga asoslangan algoritm

EKG signalining har bir nuqtasida **birinchi hosila** $Y'(n)$ quyidagi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$Y'(n) = X(n+1) - X(n-1) \quad (1)$$

Shundan so‘ng, doimiy chegaradan oshib ketadigan nuqtalar topiladi:

$$Y'(n) > 0.15$$

Keyin uchta ketma-ket keladigan hosilalar ham ushbu chegaradan oshib ketishi kerak:

$$Y'(n+1), Y'(n+2) \text{ va } Y'(n+3)$$

Agar yuqoridagi shartlar bajarilsa, n nuqta QRS kompleksiga tegishli deb tasniflanadi, agar quyidagi shartlar ham bajarilsa:

$$Y'(n+1)X(n+1) \text{ va } Y'(n+2)X(n+2) > 0$$

2. Birinchi hosilaga asoslangan algoritm

Ushbu algoritm **birinchi hosila** $Y'(n)$ ni quyidagi formula orqali hisoblaydi:

$$Y'(n) = [X(n+2) - 2X(n-2) + X(n+1) - X(n-1)] \quad (2)$$

Nishab chegarasi (L) quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$L = 0.7 * (Y'(n))$$

QRS kompleksining boshlang‘ich nuqtasi sifatida qiyalik chegarasidan oshib ketadigan birinchi nuqta olinadi:

$$Y'(i) > L$$

3. Birinchi va ikkinchi hosilalarga asoslangan algoritm

Bu algoritm EKG signalining birinchi $Y'(n)$ va ikkinchi $Y''(n)$ hosilalarini hisoblab, ularning mutlaq qiymatlarini taqqoslaydi.

$$Y'(n) = X(n+1) - X(n-1)$$

$$Y''(n) = X(n+2) - 2X(n) + X(n-2) \quad (3)$$

Keyinchalik, ushbu ikki massiv masshtablanadi va yig‘iladi:

$$Y(n) = 1,3Y'(n) + 1,1Y''(n) \quad (4)$$

So‘ngra, chegara qiymati bilan taqqoslanadi:

$$Y(n) > 1 \quad (5)$$

Agar ushbu shart bajarilgandan so‘ng, keyingi sakkizta nuqta ham chegaraga nisbatan tekshiriladi.

Agar sakkiz nuqtadan kamida oltitasi chegara qiymatiga teng yoki undan katta bo‘lsa, QRS kompleksiga tegishli deb qaraladi.

Pan-Tompkins algoritmi yordamida EKG ning QRS to‘lqinini aniqlash. Pan-Tompkins algoritmi [2] maqolasida batafsil tavsiflangan bo‘lib, QRS kompleksining amplitudasi, kengligi va qiyaligini tahlil qilish asosida ishlaydi.

1. Raqamli filtr va shovqinni bostirish

Raqamli filtr past chastotali filtr bo‘lib, shovqinni kamaytirish uchun qo‘llaniladi. Bu butun son koeffitsientlari va uzatish funksiyasiga ega bo‘lgan ikkita ketma-ket joylashgan cheksiz impulsli raqamli filtrlar yordamida amalga oshiriladi

$$K(z) = \frac{(1-z^{-6})^2}{(1-z^{-1})^2} = \frac{(1-z^{-6})}{(1-z^{-1})} \times \frac{(1-z^{-6})}{(1-z^{-1})} = \frac{1-2z^{-6}+z^{-12}}{1-2z^{-1}+z^{-2}} \quad (6)$$

Filtr farq tenglamasi:

$$y(n) = 2y(n-1) - y(n-2) + x(n) - 2x(n-6) + x(n-12), \quad (7)$$

Bu yerda $x(n)$ – kirish signali. 200 Gts namuna olish tezligi va 11 Gts o‘chirish chastotasida filtr 5 namuna (25 ms) kechikish hosil qiladi.

2. Yuqori chastotali filtr

Cheksiz impulsli raqamli filtr to‘liq o‘tkazuvchan filtdan birinchi darajali chekli impulsli raqamli filtrni ayirish orqali amalga oshiriladi.

Yuqori o'tish filtri uzatish funksiyasi:

$$K(z) = z^{-16} - \frac{K}{32} = z^{-16} - \frac{1}{32} \times \left(\frac{1-z^{-32}}{1-z^{-1}} \right) \quad (8)$$

Farq tenglamasi:

$$y(n) = 32x(n-16) - y(n-1) + x(n) - x(n-32), \quad (9)$$

Bu yerda $x(n)$ va $y(n)$ yuqori o'tkazuvchan filtrning kirish va chiqish qiymatlari hisoblanadi.

3. Differensiallash operatsiyasi

Bu operatsiya QRS kompleksining qiyaligini aniqlash uchun ishlatiladi. P va T to'liqlarini bostirish bilan birga QRS kompleksi bilan bog'liq yuqori chastotali komponentlarni kuchaytiradi.

$$K(z) = \frac{2z+z^{-1}-z^{-3}-2z^{-4}}{8} \quad (10)$$

Farq tenglamasi:

$$y(n) = 0.125[2x(n) + x(n-1) - x(n-3) - 2x(n-4)] \quad (2.30)$$

4. Kvadratlash operatsiyasi

Ushbu bosqichda signalning barcha nuqtalari musbat qiymatga ega bo'ladi. Bu operatsiya QRS kompleksining yuqori chastotalarini ta'kidlash uchun xizmat qiladi.

$$y(n) = x(n)^2 \quad (11)$$

5. Sirpanuvchi oyna tipidagi integratsiya filtri

Bu signalni tekislash uchun ishlatiladi. Tenglama quyidagicha beriladi:

$$y(n) = \frac{x(n-N-1) + x(n-N-2) + \dots + x(n)}{N}, \quad (12)$$

Bu yerda N – oynaning kengligi. Oyna kengligi juda katta bo'lmasligi kerak, aks holda boshqa EKG qismlari ham QRS kompleksi sifatida noto'g'ri aniqlanishi mumkin. Shuningdek, juda kichik bo'lmasligi kerak, aks holda bitta kompleks uchun bir nechta cho'qqilar hosil bo'ladi.

6. R-cho'qqilarini qidirish

Bu adaptiv chegara funksiyasi va mahalliy maksimumlarni qidirish orqali amalga oshiriladi. Chegara funksiyasining boshlang'ich qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$L_0 = \frac{1}{3} \times (ecgw) \quad (13)$$

Bu yerda $ecgw$ – qayta ishlangan signalning dastlabki 150 ta namunasi.

Keyinchalik, lokal maksimumlar qidiriladi va chegara bilan taqqoslanadi. Agar cho'qqining balandligi joriy chegaradan oshsa, u R to'liqini deb tasniflanadi.

Yangi chegara qiymati quyidagicha hisoblanadi:

$$\begin{cases} Speak = 0.125 * pks + 0.875 * Speak \\ Npeak = 0.125 * pks + 0.875 * Npeak \\ L = Npeak + 0.25 * Speak - Npeak \end{cases} \quad (14)$$

Bunda pks lokal maksimalning joriy qiymati.

Raqamli filtr yordamida QRS kompleksini aniqlash algoritmi. Bu algoritim [3] manbada tasvirlangan bo'lib, besh bosqichdan iborat.

1. Dastlabki tekislash

Dastlabki EKG signalini uch nuqtali harakatlanuvchi o'rtacha filtr yordamida tekislaydi:

$$Y_0(n) = \frac{X(n-1) + 2X(n) + X(n+1)}{4} \quad (15)$$

2. Past o'tkazuvchan filtr

Harakatlanuvchi o'rtacha filtr chiqishidagi signal past o'tkazuvchan filtrdan o'tkaziladi:

$$Y_1(n) = \frac{1}{2m+1} \sum_{k=n-m}^{n+m} Y_0(k), \text{ bunda } m < n \quad (16)$$

3. Kvadrat farqni hisoblash

Past o'tkazuvchan filtr kirish va chiqish signalining farqi kvadratiga teng:

$$Y_2(n) = [Y_0(n) - Y_1(n)]^2 \quad (17)$$

Kvadrat farq filtrlanadi:

$$Y_3(n) = Y_2(n) \times \sum_{k=n-m}^{n+m} Y_2(k), \text{ bunda } m < n \quad (18)$$

4. QRS shartining bajarilishi

Quyidagi shart bajarilganda massiv tuziladi:

$$Y_4(n) = \{Y_3(n), \text{ agar } [Y_0(n) - Y_0(n - m)] \times [Y_0(n) - Y_0(n + m)] > 0 \quad (19)$$

Massivning maksimal qiymati chegarani aniqlash va o'lchash uchun ishlatiladi:

$$\text{lev} = 0,125 \max(Y_4(n)) \quad (20)$$

Agar $Y_4(n)$ qiymati chegaradan oshsa, u QRS kompleksiga tegishli deb hisoblanadi.

5. Optimal parametrlarni tanlash

$m > 4$ bo'lganda hisoblash unumdorligi pasaya boshlaydi, lekin hisoblash resurslari ortib boradi. Optimal ishlashni ta'minlash uchun $m = 6$ tanlanadi.

Filtr banklari yordamida QRS kompleksini aniqlash. Filtrlar banki kirish signalini bir xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kichik diapazonlarga ajratadigan analizatorlar to'plamidan iborat [4]. Ushbu kichik diapazonlarning namuna olish tezligi kamayishi mumkin, chunki ularning tarmoqli kengligi EKG kirish signalining kengligidan kichikroq.

Pastki diapazonlar turli chastota diapazonlari haqida ma'lumot beradi, shuning uchun kirish signalining vaqt va chastota bo'yicha qayta ishlanishi mumkin bo'ladi. Sub-band signallarini $U_i(z)$ olish uchun asl signal $X(z)$ uzatish funksiyasi $K_i(z)$ bo'lgan filtrlardan o'tadi:

$$U_i(z) = K_i(z) \times X(z), \text{ bunda } i = 0, 1, \dots, -1 \quad (21)$$

Samarali tarmoqli kenglik $U_i(z)$ uchun π/M ga teng. Keyin pastki diapazondagi signallarning namuna olish chastotasini kamaytirish jarayoni namunalarni kesish orqali amalga oshiriladi:

$$W_i(z) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M U_i(z^{1/M} \times e^{-2\pi i/M}) \quad (22).$$

QRS kompleksini aks ettiruvchi turli xususiyatlarni $W_i(z)$ orqali ajratib olish mumkin. Masalan, funktsiyaning mutlaq qiymatlari yig'indisi $i = 1$ dan $i = 4$ gacha bo'lgan pastki diapazonlardan foydalanib hisoblanishi mumkin. Ushbu kichik diapazonlardan oltita xususiyat (p_1, p_2, \dots, p_6) quyidagicha aniqlanadi:

$$\{p_2(n) = \sum_{i=1}^4 |W_i(z)|, \quad p_3(n) = \sum_{i=2}^4 |W_i(z)|, \quad p_4(n) = \sum_{i=1}^3 (W_i(z))^2$$

$$p_5(n) = \sum_{i=1}^4 (W_i(z))^2, \quad p_6(n) = \sum_{i=2}^4 (W_i(z))^2 \quad (23)$$

Gilbert konvertatsiyasi va adaptiv chegara funksiyasiga asoslangan EKG signalining QRS to'lqinini izolyatsiya qilish algoritmi.

Ushbu algoritmi [5] da keltirilgan. $x(t)$ funksiyasi uchun Gilbert konvertatsiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$x_h(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (24)$$

Asl signal va uning Gilbert konvertatsiyasidan foydalanib, analitik to'lqin shakli quyidagicha yoziladi:

$$y(t) = x(t) + jx_h(t) \quad (25)$$

Analitik signal konverti quyidagicha aniqlanadi::

$$B(t) = \sqrt{x(t)^2 + x_h(t)^2} \quad (26)$$

Taklif etilayotgan aniqlash algoritmi besh bosqichdan iborat:

1. 8 dan 20 Gts gacha bo'lgan diapazonda dastlabki EKG signalini tarmoqli filtrlash. Buning uchun ikkinchi turdagi Chebyshev filtri ishlatiladi.
2. Analitik signalni hosil qilish uchun tarmoqli o'tkazuvchanlik filtrining chiqishidagi signalga Gilbert transformatsiyasini qo'llash.
3. Analitik signalning modulini hisoblash va uning konvertini olish.
4. EKG signalining QRS kompleksiga mos keladigan yuqori amplitudali komponentlarni yanada kuchaytirish uchun analitik signalning konvertini kvadratlashtirish.
5. Moslashuvchan chegara funksiyasini aniqlash.

Detektor sxemasi adaptiv pol bloki va uch nuqtali tepalik detektoridan iborat. Moslashuvchan aniqlash algoritmi harakatlanuvchi oyna yordamida kirish signalini kichik ketma-ketliklarga ajratadi. Chegara

qiymatidan oshib ketgan signal namunalari orasidagi har bir keyingi ketma-ketlik uchun tepaliklar olinadi. Chegara qiymati har bir harakatlanuvchi oyna uchun quyidagi chegara funktsiyasi asosida aniqlanadi:

$$Lev(i) = \begin{cases} 0,4\text{Max}(i); & \text{если } \Omega(i) \geq 0,2\text{Max}(i), \text{Max}(i) < 2\text{Max}(i - 1); \\ 0,4\text{Max}(i - 1); & \text{если } \Omega(i) \geq 0,2\text{Max}(i), \text{Max}(i) \geq 2\text{Max}(i - 1); \\ 1,6\Omega(i); & \text{если } \Omega(i) < 0,2\text{Max}(i). \end{cases} \quad (27)$$

Bunda $\Omega(i)$ — joriy i -surma oynasidagi signalning standart og'ishi, $\text{Max}(i)$ esa ushbu oyna ichidagi maksimal signal qiymati. Agar quyidagi shart bajarilsa:

$$A(n) > lev \& A(n) > A(n - 1) \& A(n) > A(n + 1) \quad (28)$$

Unda $A(n)$ QRS kompleksiga tegishli bo'ladi.

QRS kompleksini aniqlash uchun korrelyatsiya algoritmi. Sekin o'zgaruvchan EKG signali va patologik EKG og'ishlari yo'qligi sharoitida korrelyatsiya algoritmi qo'llaniladi.

QRS kompleksini aniqlash. Korrelyatsiya algoritmi $y(n)$ shablon namunalari va uzunligi N bo'lgan o'rganilayotgan $x(n)$ EKG signali o'rtasidagi korrelyatsiya koeffitsientlarini hisoblash hamda ularni chegara bilan solishtirishga asoslanadi [6]:

$$r = \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})(y(n) - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (x(n) - \bar{x})^2 \sum_{n=1}^N (y(n) - \bar{y})^2}} \quad (29)$$

Korrelyatsiya koeffitsientining qiymati EKG signali namunasi shakllari va shablonning o'xshashligiga qarab -1 dan 1 gacha o'zgaradi. Shablon signali to'g'ri tanlangandan so'ng, korrelyatsiya koeffitsientining qiymati shablon QRS kompleksi bilan korrelyatsiya qilingandagina 1 ga yaqinlashadi.

QRS komplekslarini aniqlash uchun matematik morfologiya operatorlaridan foydalanish. Matematik morfologiya tasvirlarni va signalni qayta ishlashda eroziya (\ominus) va dilatatsiya (\oplus) asosiy operatsiyalaridan foydalanadi. Bu operatsiyalar tasvir yoki signal bilan tanlangan struktura elementi o'rtasidagi o'zaro ta'sirni o'rganish uchun ishlatiladi.

Funksiya f ning shablon (funksiya) k bo'yicha eroziyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$(f \ominus k)[m] = f[m + n] - k[n] \quad (30)$$

Funksiya f ning k bo'yicha kengaytirilishi (dilatatsiyasi) quyidagicha ifodalanadi:

$$f \oplus k[m] = f[n] - k[m - n] \quad (31)$$

Eroziya va dilatatsiyani birlashtirish orqali qo'shimcha operatsiyalar hosil qilinadi:

1. **Ochish** (\circ) — dastlab

eroziya, keyin kengaytirish amali bajariladi:

$$f \circ k = (f \ominus k) \oplus k \quad (32)$$

2. **Yopish** (\bullet) — dastlab

kengaytirish, keyin eroziya amali bajariladi:

$$f \bullet k = (f \oplus k) \ominus k \quad (33)$$

Ikkala operator ham signallarni taqqoslash asosida qayta ishlaydi. Struktura elementi k yordamida ochish operatori f funktsiyasidagi barcha musbat cho'qqilarni chiqaradi, yopish operatori esa barcha manfiy tepaliklarni chiqaradi.

QRS komplekslari ketma-ket musbat va manfiy cho'qqilardan iborat bo'lgani sababli, ochish va yopish operatorlarining kombinatsiyasi QRS kompleksini aniqlash uchun samarali operator sifatida ishlatilishi mumkin [7].

1. Filtrlash bosqichi. Shovqin tufayli yuzaga kelishi mumkin bo'lgan noto'g'ri cho'qqilarni bostirish uchun filtrlash bosqichi quyidagi formula orqali amalga oshiriladi:

$$y = \frac{(x \circ k) \bullet k + (x \bullet k) \circ k}{2} \quad (34)$$

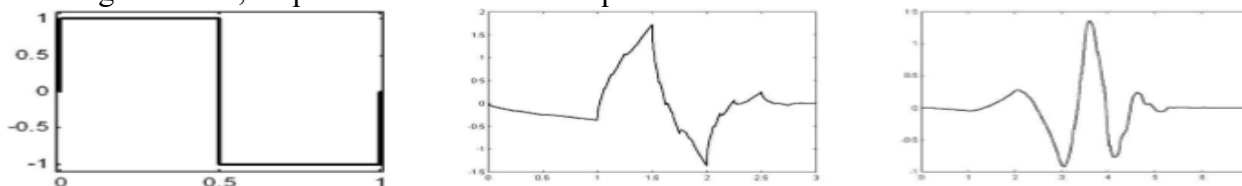
2. Cho'qqilarni ajratish bosqichi. Ushbu bosqich quyidagi formula bilan tavsiflanadi:

$$z = y - (y \circ k) \bullet k \quad (35)$$

Bu bosqichdan so'ng yangi signal hosil bo'ladi, unda QRS komplekslari o'tkir cho'qqilar sifatida ajralib turadi, EKG signalining boshqa asosiy segmentlari va to'lqinlari esa deyarli nolga aylanadi.

Morfologik o'zgarishlardan so'ng, QRS kompleksini aniqlash ancha osonlashadi. QRS komplekslarini tanib olishda adaptiv chegara funktsiyasi qo'llaniladi. Har bir QRS kompleksi aniqlanganidan so'ng, struktura elementi oxirgi QRS kompleksining shakliga muvofiq yangilanadi.

Veyvlet almashtirishga asoslangan R EKG to'liqlarini aniqlash algoritmi. Veyvlet almashtirish $f(t)$ funksiyasi uchun integral ifoda sifatida ta'riflanadi (1). Ushbu almashtirish qisqa muddatli chastotali Furye almashtirishiga o'xshab, vaqt-shkala tasvirini hosil qiladi.



1-rasm. EKG tahlili uchun ona veyvletlarining namunasi (Haar, Daubechies D4 va D6).

Normallashtirilgan veyvletlar oilasi $\psi(a, b)$ asl (ona) veyvlet $\psi(t)$ dan olingan bo'lib, bu yerda:

- a — cho'zish (masshtab) parametri,
- b — siljish parametri.

EKG tahlilida QRS kompleksiga o'xshash, o'rtacha qiymati nolga teng bo'lgan qisqa tebranishlardan foydalaniladi. 1-rasm da EKG tahlili uchun to'liqlik funksiyaga misol keltirilgan.

Diskret veyvlet almashtirishda masshtablash va siljish parametrlari diskret qiymatlar bilan belgilanadi. Diskretlashtirish ikki darajali ifoda orqali aniqlanadi:

$$a = 2^m, b = n * 2^m \quad (36)$$

Shunda veyvlet funksiyasi (1) quyidagi shaklni oladi:

$$\psi(m, n, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \psi\left(\frac{t-n \times 2^m}{2^m}\right) \quad (37)$$

Bunda n va m butun sonlar.

Veyvlet almashtirishning ikkita muhim xususiyati uni QRS kompleks detektor sifatida ishlatishga imkon beradi:

1. Signal komponentlarini turli chastota diapazonlariga ajratish
2. Aniqlanayotgan signalga o'xshash ona veyvletni tanlash imkoniyati

Veyvlet tahlili natijasida signal ikkita komponentga ajratiladi:

Taxminiy koeffitsientlar — tekislangan signalni ifodalaydi.

Detal koeffitsientlar — shovqinni tavsiflaydi.

Shovqinni kamaytirish maqsadida qiymati belgilangan chegaradan past bo'lgan detal koeffitsientlari olib tashlanadi.

EKG signallari ichida R to'liqini eng katta amplitudaga ega bo'lib, uni boshqa cho'qqilardan ajratish mumkin. QRS kompleksini aniqlash diskret veyvlet almashtirishning maksimal modul qoidasi asosida amalga oshiriladi. Bu qoidaga ko'ra, signal ichidagi keskin cho'qqilar maksimal modularga to'g'ri keladi.

QRS komplekslarini veyvlet almashtirish yordamida aniqlashning turli usullari [8] manbalarida batafsil tasvirlangan.

Yurak urishini to'g'ri aniqlash EKGni qayta ishlashning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi. Bu natijalar keyingi tahlillar uchun asos bo'lib xizmat qiladi hamda yurak urish tezligi haqidagi muhim ma'lumotlarni olish imkonini beradi. Yurak urishining energiyasi asosan QRS kompleksida jamlanganligi sababli, aniq QRS detektor EKG tahlilining eng muhim qismlaridan biri sanaladi.

Biroq, QRS kompleksini aniqlash qiyin vazifa hisoblanadi, chunki:

1. Vaqt o'tishi bilan yurak urish morfologiyasi o'zgarishi mumkin.
2. Turli xil shovqin manbalari mavjud bo'lishi ehtimoli bor.

QRS aniqlash algoritmlarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, EKG signalini qayta ishlash uchta asosiy bosqichdan iborat:

1. Oldindan ishlov berish bosqichi
2. QRS kompleksini ajratish bosqichi (chiziqli va chiziqli bo'lmagan almashtirishlar yordamida)
3. Qaror qabul qilish bosqichi

Oldindan ishlov berish bosqichi. Ushbu bosqichda signalga turli filtrlar va usullar qo'llaniladi:

- Chiziqli filtrlar:
 - Cheklangan impulsli xarakteristikaga ega filtrlar (FIR)
 - Cheksiz impulsli xarakteristikaga ega filtrlar (IIR)

- Chiziqli bo‘lmagan filtrlar:
 - Moslashuvchan filtrlar
 - Tez Furye almashtirish (FFT)
 - Tez veyvlet almashtirish (FWT)

Shuningdek, P- va T-to‘lqinlarni hamda shovqinni kamaytirish uchun silliqlash usullari qo‘llaniladi.

QRS kompleksini ajratish bosqichi. Bu bosqichda matematik vositalar yordamida QRS kompleksi ajratiladi va boshqa komponentlar bostiriladi. Buning uchun odatda "ko‘paytirish va yig‘ish" usuli ishlatiladi, bu esa signalni ma’lum bir oyna (etalon) funktsiyasi bilan taqqoslashga asoslanadi.

Qaror qabul qilish bosqichi. Ushbu bosqichda chegaralarni aniqlash eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayrim holatlarda T-to‘lqinlarni farqlash usullari ham ishlatiladi.

QRS detektori algoritmlari hali ham muhim tadqiqot mavzusi bo‘lib qolmoqda. Bugungi kunda yurak urishini aniqlash bo‘yicha ko‘plab algoritmlar nashr etilgan, ammo ularning aksariyati:

- Manba kodini taqdim etmaydi
- Umumiy EKG ma’lumotlar bazalarida tasdiqlanmagan

Ko‘pincha, ushbu algoritmlar nazariy jihatdan tushuntirilgan yoki faqat amalga oshirish uchun qisqa tavsiyalar berilgan. Shu sababli, foydalanuvchilar uchun o‘z algoritmlarini sinab ko‘rish va ularning ishlashini turli ma’lumotlar bazalarida solishtirish imkoniyatiga ega bo‘lish muhimdir.

EKG (biosignallar) ni dastlabki raqamli filtrlash uchun chiziqli yoki doimiy fazali xarakteristikaga ega filtrlar ishlatilishi kerak. Filtrlash bosqichida chastota xarakteristikasining o‘zgarishi 30% dan oshmasligi kerak.

QRS kompleksini aniqlash algoritmlari quyidagi asosiy ko‘rsatkichlar orqali baholanadi:

- 1) Sezuvchanlik (Sensitivity, Se)
- 2) O‘ziga xoslik (Specificity, Sp)

1. Sezuvchanlik

Sezuvchanlik — to‘g‘ri aniqlangan haqiqiy ijobiy natijalar nisbatini o‘lchaydi va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$S_e = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \% \quad (38)$$

Bunda:

- **TP** — to‘g‘ri aniqlangan holatlar (True Positives)
- **FN** — aniqlanmay qolgan holatlar (False Negatives)

2. O‘ziga xoslik

O‘ziga xoslik — to‘g‘ri aniqlangan haqiqiy manfiy natijalar ulushini o‘lchaydi va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$S_p = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \% \quad (39)$$

Bunda:

- **FP** — noto‘g‘ri aniqlangan holatlar (False Positives)

QRS kompleksini aniqlash EKG tahlilining eng muhim qismi bo‘lib, yuqori aniqlikdagi algoritmlar ishlab chiqish hamon dolzarb masala hisoblanadi. Bugungi kunda turli filtrlar, transformatsiyalar va matematik usullar yordamida yurak urishini aniqlash samaradorligini oshirishga qaratilgan tadqiqotlar olib borilmoqda.

Jadval 1. Beshta umumiy QRS aniqlash algoritmlari uchun test natijalari.

Testlash algoritmlari	EKG kanal	TP	FN	FP	Se	Sp
Hosilaga asoslangan algoritm	I	10	0	0	100	100
	II	13	0	0	100	100
	III	34	0	1	100	97.14
	IV	11	0	0	100	100
Vaznlangan hosilaga asoslangan algoritm	I	10	0	0	100	100
	II	13	0	0	100	100
	III	34	0	0	100	100
	IV	11	0	0	100	100
Pana-Tompkins algoritmi	I	10	0	0	100	100

	II	13	0	1	100	92.86
	III	34	3	0	91.18	100
	IV	11	0	0	100	100
Nol kesishishlar sonini hisoblashga asoslangan algoritm	I	10	0	0	100	100
	II	13	0	0	100	100
	III	34	2	0	94.12	100
	IV	11	0	0	100	100
Korrelyatsion algoritm	I	10	0	0	100	100
	II	13	1	0	92.32	100
	III	34	0	6	100	85.00
	IV	11	0	0	100	100

Xulosa

QRS komplekslarini aniqlash bo'yicha eng keng tarqalgan beshta algoritmnining qiyosiy tahlili o'tkazildi [9], natijalari 1-jadvalda keltirilgan. Bu jadvalda I – ideal EKG turi, II..IV – turli yo'nalishlardan olingan haqiqiy EKG turlari ko'rsatilgan. Tadqiqotchilar turli interferensiyalar ta'sirida to'qqizta algoritmnining qiyosiy tahlilini ham o'tkazgan [10]. Natijalar shuni ko'rsatdiki, filtrlash algoritmlari farqlash algoritmlari bilan birlashtirilganda yaxshiroq natijalarga erishiladi.

EKGni tahlil qilish algoritmlarining samaradorligini baholash uchun turli xil EKG signallarini o'z ichiga olgan ochiq ma'lumotlar bazalari mavjud. Ushbu ma'lumotlar bazalariga quyidagi internet manzillar orqali kirish mumkin:

[American Heart Association](#)

[PhysioNet QT Database](#).

Adabiyotlar

1. Pan J. , Tompkins, A – «QRS detection algorithm», IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 32, pp. 230-236, 1985
2. Барановский А.Л., Калиниченко А.Н., Манило Л.А.и др. Кардиомониторы. Аппаратура непрерывного контроля ЭКГ: Учеб.пособие для вузов/. Под ред. А.Л.Барановского и А.П.Немирко. - М., Радио и Связь,1993.- 248 с
3. Микропроцессорные медицинские системы. /Под ред. У. Томпкинса, пер. с англ. -М.: Мир, 1983.
4. M. Okada, «A digital filter for the QRS complex detection,» IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 26, pp. 700-703, Dec. 1979
5. Makwana N. H. et al. Hilbert transform based adaptive ECG R-Peak detection technique //International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2012. – Т. 2. – №. 5. – С. 639
6. Kohler B. U., Hennig C., Orglmeister R. The principles of software QRS detection //IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. – 2002. – Т. 21. – №. 1. – С. 42-57
7. Yazdani S., Vesin J. M. Adaptive mathematical morphology for QRS fiducial points detection in the ECG //Computing in Cardiology Conference (CinC), 2014. – IEEE, 2014. – С. 725-728
8. Zidelmal Z. et al. QRS detection based on wavelet coefficients //Computer methods and programs in biomedicine. 2012. –Т. 107. №. 3. – С. 490-496
9. Рослякова А.В., Чупраков П.Г.. Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения R-зубца электрокардиосигнала. Вятский медицинский вестник, № 2, 2012.с.29-35
10. Friesen G. M. et al. A comparison of the noise sensitivity of nine QRS detection algorithms //IEEE Transactions on biomedical engineering. – 1990. – Т. 37. – №. 1. – С. 85-98.