

PANA-TOMPKINS ALGORITHM IN ELECTROCARDIOGRAPH SYSTEM "HEARTBIT"

Kerimbaev N.N.¹, Madiyeva B.A.² (Republic of Kazakhstan)

Email: Kerimbaev535@scientifictext.ru

¹Kerimbaev Nurasyly Nurymuly - Professor;

²Madiyeva Balnur Abdinabikyzy - Master,

DEPARTMENT OF INFORMATICS, FACULTY OF MECHANICS AND MATHEMATICS,
AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY,
ALMATY, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Abstract: the article starts with the definition of electrocardiogram and its part QRS complex. Authors make overview to algorithms for defining QRS complex. After that, Pan-Tompkins algorithm was described specifically, which was chosen as algorithm for identifying QRS complex in system of electrocardiograph. Stages of algorithm were described by pictures. Conclusion of article contains reliability and validity of the result Pan-Tompkins algorithm. A more accurate and accurate analysis of the position of QRS complexes in the signal makes it possible to more accurately assess the state of the cardiovascular system of man, which is an important factor in the treatment and diagnosis of heart disease in the early stages.

Keywords: electrocardiogram, QRS complex, Pan-Tompkins algorithm.

АЛГОРИТМ ПАНА-ТОМПКИНСА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА «HEARTBIT»

Керимбаев Н.Н.¹, Мадиева Б.А.² (Республика Казахстан)

¹Керимбаев Нурасыл Нұрымұлы – профессор;

²Мадиева Балнұр Абдинабикқызы – магистрант,
кафедра информатики, факультет механики–математики,
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби,
г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: в статье кратко объясняется, что такое электрокардиограмма и ее QRS-комплекс. В статье авторы объясняют, почему они выбрали алгоритм Пана-Томпкинса для определения QRS-комплекса. Статья содержит описание реализации алгоритма Пана-Томпкинса. Этапы алгоритма иллюстрированы рисунками. Заключение статьи содержит действительность, надежность, которой показал алгоритм Пан-Томпкинса. Более качественный и точный анализ положения QRS-комплексов в сигнале позволяет более точно производить оценку состояния сердечно-сосудистой системы человека, что является важным фактором при лечении и диагностике заболеваний сердца на ранних стадиях.

Ключевые слова: электрокардиограмма, QRS-комплекс, алгоритм Пана-Томпкинса.

Сердце работает в нашем организме под руководством собственного водителя ритма, который вырабатывает электрические импульсы и направляет их в проводящую систему [1]. Электрокардиограмма – графическое отображение (регистрация) прохождения электрического импульса по проводящей системе сердца [1]. Электрокардиограмма состоит из зубцов, интервалов. Зубцы и интервалы ЭКГ принято обозначать латинскими буквами.

В системе электрокардиографа Heartbit мы хотим анализировать QRS-комплекс. QRS-комплекс описывает возбуждения желудочков сердца. По QRS-комплексу можно определить: частоту сердечных сокращений, наличие инфаркта миокарда, наличие аритмий сердца, наличие полной блокады левой, правой ножки пучка Гиса. Для анализа QRS-комплекса нам нужен алгоритм, который может выявлять QRS-комплекс среди других частей ЭКГ. Есть ряд алгоритмов, предназначенных для распознавания QRS-комплекса. Например: алгоритм, основанный на производной [2], алгоритм определения QRS-комплекса используя отведений электрокардиограммы [3] (алгоритм является модифицированной версией алгоритма Пана-Томпкинса), сверточно-корреляционный алгоритм [4], метод, основанный на подсчете числа пересечений нуля [2], Пан-Томпкинс [2]. В системе электрокардиографа Heartbit мы выбрали алгоритм Пана-Томпкинса для распознавания QRS-комплекса, потому что в алгоритме

значений ЭКГ могут быть заранее неизвестными, у [2] алгоритм показал высокую чувствительность, алгоритм может распознавать QRS- комплекс при наличии шумов в ЭКГ.

Алгоритм Пана-Томпкинса

Алгоритм Пана-Томпкинса может быть использован, когда значения ЭКГ заранее неизвестны. QRS- комплекс отличается от других зубцов тем, что он имеет высокую амплитуду, его ширина в норме достигает до 0.12 с [5]. Данный алгоритм учитывает эти свойства, чтоб определить QRS-комплекс.

Первым шагом алгоритма Пана-Томпкинса является прохождение значений ЭКГ через фильтр нижних частот. Фильтр нижних частот описывается уравнением (1):

$$y(n) = 2y(n-1) - y(n-2) + \frac{1}{32}[x(n) - 2x(n-6) + x(n-12)] \quad (1)$$

Где $x(n)$ -входной сигнал. При частоте дискретизации 200 Гц, фильтр нижних частот вносит задержку 5 отсчетов или 25 мс [3]. Следующим этапом алгоритма является прохождение значений нижних частот через фильтр верхних частот. Фильтр верхних частот описывается уравнением 2:

$$p(n) = p(n-1) - \frac{1}{32}x(n) + x(n-16) - x(n-17) + \frac{1}{32}x(n-32) \quad (2)$$

Здесь $x(n)$, $x(n-16)$, $x(n-17)$, $x(n-32)$ являются значениями фильтра нижних частот. Иными словами, фильтр верхних частот равен разнице между значением всепропускающего фильтра и значением фильтра нижних частот. Данный фильтр дает задержку 80 мс. Далее, значений фильтра верхних частот преобразовываются операцией дифференцирования. В алгоритме Пана-Томпкинса операция дифференцирования высчитывается следующей формулой:

$$y(n) = \frac{1}{8}[2x(n) + x(n-1) - x(n-3) - 2x(n-4)] \quad (3)$$

Операция дифференцирования приблизительно высчитает угол наклона сигнала. Операция дифференцирования подавляет низкочастотные компоненты зубцов Р и Т. Вдобавок, операция дифференцирования имеет высокий коэффициент усиления для высокочастотных компонентов, которые возникают при крутых склонах QRS-комплекса [2]. В алгоритме Пана-Томпкинса считается, что зубец R электрокардиограммы имеет амплитуду больше 1мВ и его амплитуда обычно наибольшая среди других зубцов, сегментов ЭКГ. Далее нужно возвести в квадрат полученные значений от операции дифференцирования, чтоб сделать расстояние между зубцами с амплитудой больше 1мВ и зубцами, с амплитудой меньше 1мВ больше. Следующим шагом алгоритма является прохождение полученных значений от операции возведения в квадрат через интегрирующий фильтр скользящего окна. Фильтр описывается следующей формулой:

$$y(n) = [x(n - (N - 1)) + x(n - (N - 2)) + \dots + x(n)]/N \quad (4)$$

Где N является шириной окна. Ширина окна не имеет постоянного значения. Ширина окна должна быть приблизительно равна ширине QRS-комплекса. В моей реализации алгоритма ширина окна была равной 100 мс для частоты дискретизации 1000 записей в секунду. При выборе ширины окна нужно учитывать следующие соображения: если ширина окна будет слишком большой, то алгоритм будет классифицировать другие части ЭКГ (например: ST сегмент, зубец Т) как QRS-комплекс. Если ширина окна будет слишком маленькой, то алгоритм будет неправильно классифицировать QRS-комплекс, так как в одном сердечном цикле будут регистрироваться несколько пиков.

Исследование алгоритма Пана-Томпкинса

Мы тестировали алгоритм Пана-Томпкинса со следующими входными значениями:

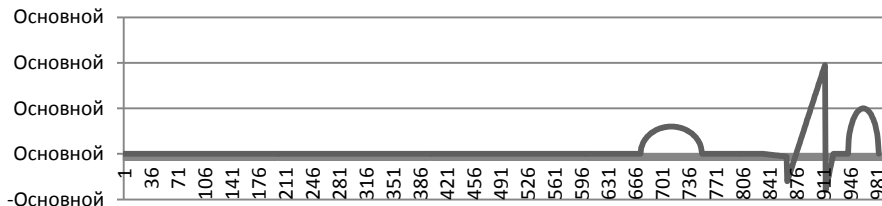


Рис. 1. ЭКГ для тестирования

После прохождения значений ЭКГ через фильтр нижних частот, наш график принял вид:

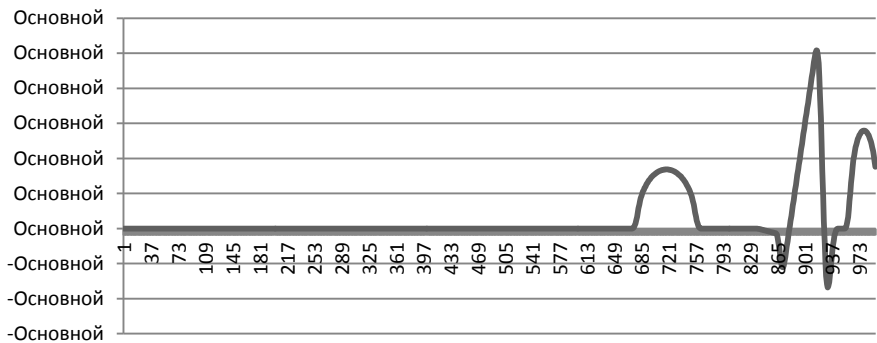


Рис. 2. Выход фильтра нижних частот для рис. 1

Заметьте, значение зубца R стало чуть больше. Далее мы попробовали изменить начальные значения ЭКГ (рис. 1) и получили следующие преобразованные значения:

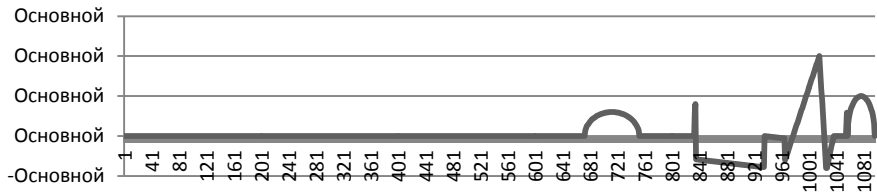


Рис. 3. Второй тест

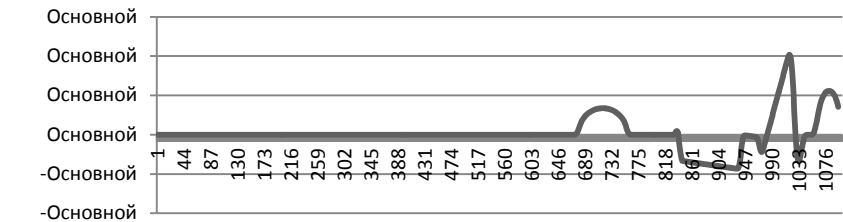


Рис. 4. Выход фильтра нижних частот для рис. 2

В алгоритме Пана-Томпкинса каждой части ЭКГ соответствует преобразованное фильтрами значение. Операция возведения в квадрат в алгоритме нужна, чтобы сделать преобразованные значения ЭКГ, которые не соответствуют QRS- комплексу (определенный алгоритмом) маленькими и сделать значения QRS положительными (операция возведения в квадрат в [3] заменена взятием модуля). Ниже рисунки иллюстрируют сказанное.

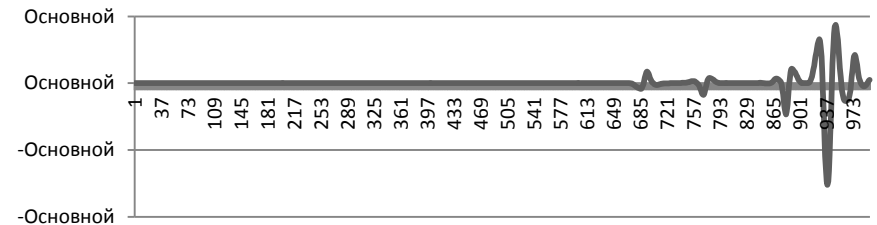


Рис. 5. Операция дифференцирования для рис. 1

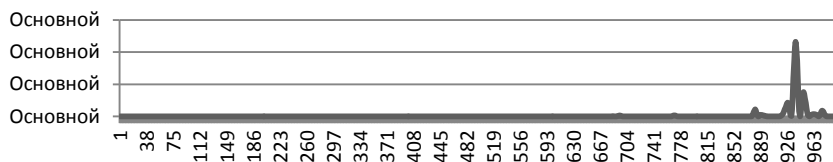


Рис. 6. Операция возведения в квадрат для рис. 1

В алгоритме Пана-Томпкинса фильтр верхних частот и фильтр нижних частот являются рекурсивными. В алгоритме начальные 12 значений $u(n)$ и значение $p(0)$ мы приравняли нулю.

Алгоритм Пана-Томпкинса требует правильного определения ширины окна интегрирующего фильтра. Как было сказано выше, мы приравняли значение ширины окна к 100 мс. Алгоритм приблизительно правильно определил QRS-комплексы. Ширина окна используется для определения ширины и регистрации QRS- комплекса.

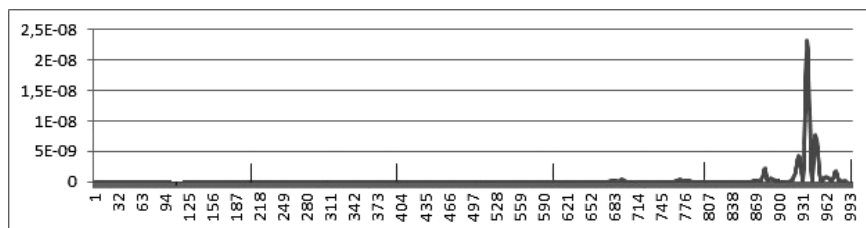


Рис. 7. Ширина окна равна 200 мс

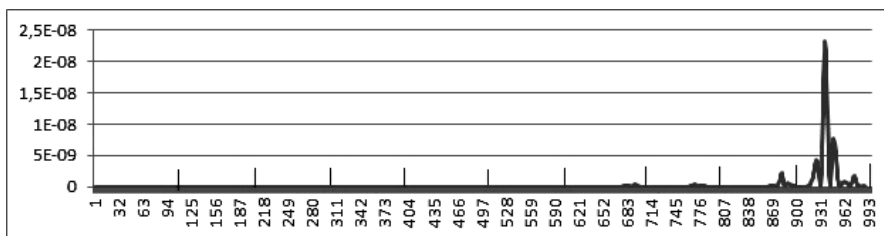


Рис. 8. Ширина окна равна 100 мс

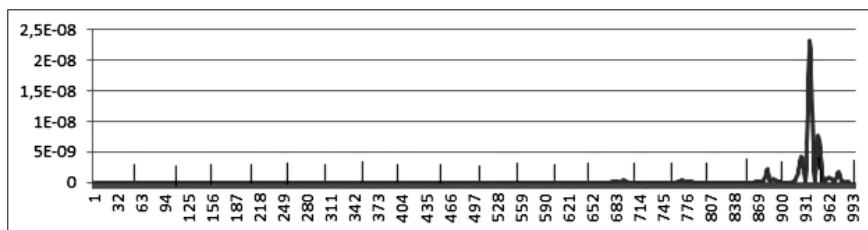


Рис. 9. Ширина окна равна 50 мс

Чем ширина окна будет меньше, тем больше алгоритм зафиксирует пики (например: суммы значений интервалов 900-949 и 950-993 приблизительно равны). В алгоритме каждый пик соответствует QRS-комплексу. Следовательно, чтоб правильно определить количество и интервал QRS-комплекса, ширина окна должна быть правильно подобрана.

Заключение

В нашей реализации алгоритма Пана-Томпкинса алгоритм определил QRS-комплексы в следующих интервалах:

Таблица 1. Интервалы

QRS- комплекс	834- 936 мс	1828- 1930 мс	2822- 2924 мс	3816- 3918 мс	4810- 4912 мс	5804- 5906 мс	6798- 6900 мс	7792- 7894 мс	8786- 8888 мс	9780- 9882 мс
Определенные алгоритмом QRS- комплекс	900- 1000 мс	1900- 2000 мс	2900- 3000 мс	3900- 4000 мс	4900- 5000 мс	5900- 6000 мс	6900- 7000 мс	7800- 7900 мс	8800- 8900 мс	9800- 9900 мс

В нашем случае надежность алгоритма составил 100%. Чувствительность и специфичность алгоритма определены в следующей таблице. Чувствительность и специфичность определяются соответственно следующими формулами:

$$\text{чувствительность} = \frac{TP}{TP+FN} * 100\% \quad (5) \quad \text{специфичность} = \frac{TP}{TP+FP} * 100\% \quad (6)$$

Где TP – количество правильных ответов, FN– количество неправильно определенных не QRS-комплексов ответов, FP– количество неправильно определенных положительных ответов.

Таблица 2. Чувствительность и специфичность алгоритма

Пример	Чувствительность	Специфичность
1	37%	35.92%
2	31%	30.1%
3	25%	24.27%
4	19%	18.45%
5	13%	12.62%
6	7%	6.8%
7	1%	0.97%
8	95%	92.23%
9	89%	86.41%
10	83%	80.58%
11	77%	74.76%
12	71%	68.93%
13	65%	63.11%
14	59%	57.28%
15	53%	51.46%
16	47%	45.63%
17	41%	39.81%
18	35%	33.98%
19	29%	28.16%
20	23%	22.33%
21	11%	10.68%
22	5%	4.85%
23	0%	0%
24	93%	90.29%
25	87%	84.47%
26	81%	78.64%
27	75%	72.82%
28	69%	66.99%

При выборе алгоритма определения QRS-комплекса нужно учитывать его вычислительную сложность, реализационную сложность, насколько точно алгоритм может распознавать QRS-комплекс при наличии шумов.

В системе электрокардиографа «Heartbit» мы хотим разработать приложение, которое может рисовать ЭКГ по полученным значениям от платформы. Мы хотим отмечать распознанный алгоритмом QRS- комплекс красным цветом, чтоб пользователь приложения мог проверить точность распознавания алгоритма. В системе электрокардиографа «Heartbit» планируется определить следующие: частоту сердечных сокращений, наличие аритмии сердца оценивая R-R интервалы.

Список литературы / References

1. Зудбинов Ю.И. Азбука ЭКГ. Третье издание. Стилистика текста/ [Текст]: учеб. пособие / Ю.И. Зудбинов. Ростов н/Д., 2003. 160 с. ISBN 5-222-02964-6.
2. Рослякова А.В., Чупраков П.Г. Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения R-зубца электрокардиосигнала. // Вятский медицинский вестник, 2012. № 2. С. 29-35.
3. JCTB Moraes, MM Freitas, FN Vilani, EV Costa. A QRS Complex Detection Algorithm using Electrocardiogram Leads // Computers in cardiology, 2002; 29. С. 205-208.
4. Крамаренко А.В., Крамаренко Ю.А. Сверточно-корреляционный алгоритм выделения QRS комплекса: публикация. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tredex-company.com/ru/svertochno-korrelyatsionnyj-algoritim-vydeleniya-qrs-kompleksa/> (дата обращения: 05.04.2017).
5. Хэмpton Джон Р. Перевод с английского Ф.И. Плешкова. Основы ЭКГ. Стилистика текста. [Текст]: Медицинская литература. М., 2006. 224 с. ISBN 5-89677-052-9.