

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ РАДАР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

С.В. Самков, А.И. Черненко

*Московский Авиационный Институт (государственный технический университет)
107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 16А.
E-mail: samkov@uwbgroup.ru; chernenko@uwbgroup.ru*

В статье рассматривается принцип построения и алгоритм обработки сигнала получаемого с помощью сверхширокополосного (СШП) радиолокатора, с целью выделения информации о сердечной деятельности человека на фоне помех, обусловленных его движением.

The algorithm of signal processing received with the help ultra wide radar for extraction of information on heart activity of the person on a background of noise caused by his movement.

Основной задачей алгоритма обработки сигнала, получаемого с помощью СШП радиолокатора располагаемого на руке человека (рис. 1), является выделение информации о сердечной деятельности человека из совокупности полезного и помехового сигналов.



Рис. 1. Внешний вид и расположение СШП радара

Объектом измерения является радиальная артерия, находящаяся в некотором неоднородном, диффузно рассеивающем протяженном объеме (предплечье руки человека). В этом объеме помимо интересующего нас объекта располагается множество сторонних отражателей. Предплечье руки человека содержит в себе большое количество неоднородностей, обладающих разными коэффициентами диэлектрической проницаемости среды.

Полезным сигналом являются отражения от лучевой артерии, содержащие в себе информацию о сердечной деятельности человека. Помеховая составляющая принимаемого сигнала определяется отражениями от костных тканей, мышечных тканей, сухожилий, венозных сосудов и поверхности кожи. Основной сложностью анализа является то, что интенсивность помеховых отражений при движениях человека высока и превышает интенсивность полезной составляющей принимаемого сигнала.

Математическая модель принимаемого сигнала описывается следующим выражением:

$$s(t) = \rho(t) + \xi(t), \quad (1)$$

где $\rho(t)$ – полезная составляющая принимаемого сигнала; $\xi(t)$ – помеховая составляющая принимаемого сигнала.

Принятый сигнал является суперпозицией сигналов отраженных от N блестящих точек, хаотично расположенных в объеме, ограниченном рабочей дальностью радара:

$$s(t) = \sum_{k=1}^N a_n \cdot s(t - t_k) \cdot e^{j\omega[t - t_k]}, \quad (2)$$

где $t_k = \frac{2R_k(t)}{c}$ – запаздывание сигнала от k -ой блестящей точки; a_n – коэффициент потерь, зависящий от затуханий электромагнитной волны при прохождении через исследуемый объем.

Рука человека является динамичной системой. Все элементы в интересующем нас объеме изменяют свое положение как относительно радара, так и относительно друг друга. При этом флуктуации могут носить случайный и периодический характер. Спектральные области помехового и полезного сигналов, в случае если флуктуации носят периодический характер, могут быть соизмеримы и располагаться в непосредственной близости друг к другу, а в некоторых случаях просто перекрываться.

Если же флуктуации носят квазипериодический или хаотический характер, то спектральная область помехового сигнала расширяется и перекрывает спектральную область полезного сигнала.

На рисунках 2, 3 и 4 представлены примеры зарегистрированных сигналов пульсовой волны при отсутствии помех, при наличии периодической помехи, а также при наличии случайной помеховой составляющей принимаемого сигнала:

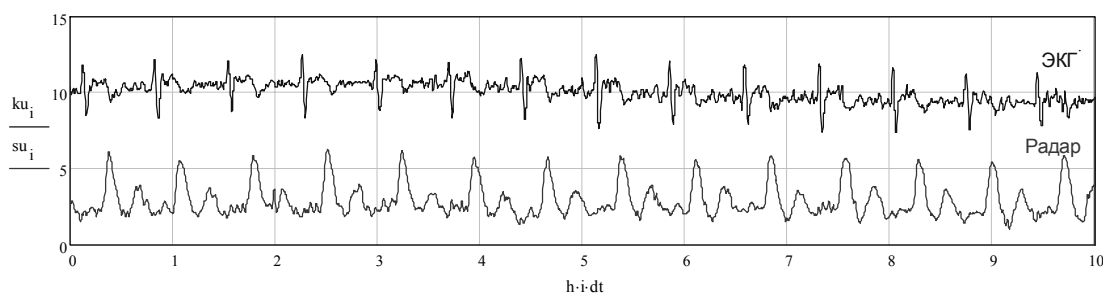


Рис. 2. Сигнал пульсовой волны без помех

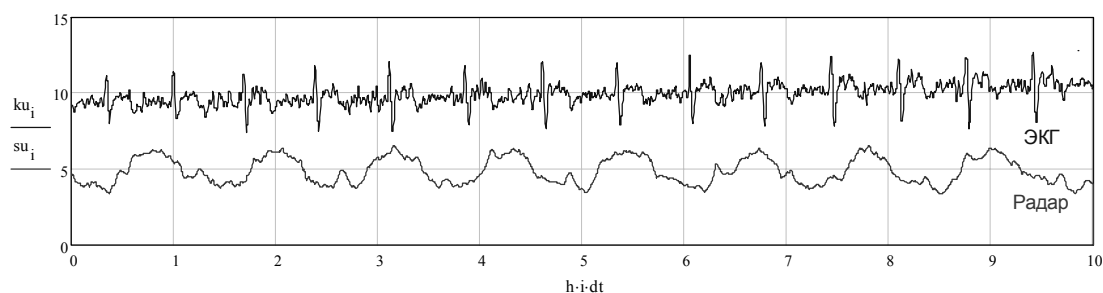


Рис. 3. Сигнал пульсовой волны при наличии периодической помехи

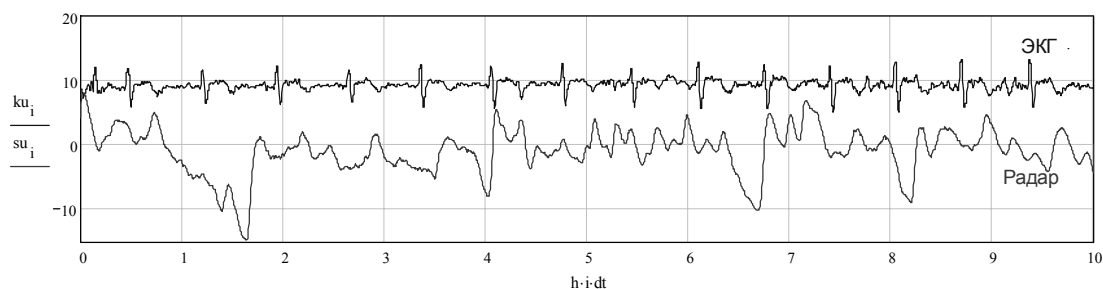


Рис. 4. Сигнал пульсовой волны при наличии случайной помехи

При составлении алгоритма обработки сигнала принимаемого с помощью сверхширокополосного радара необходимо учитывать следующие биологические особенности сердечного ритма:

- интервал времени между последовательными сердечными сокращениями не различается более чем на 30%.
- между 10-секундными участками пульс меняется в зависимости от исходного пульса и направления изменения следующим образом:

- если изменение на увеличение, то:
 - при пульсе 100-120 на следующем 10 секундном участке пульс может увеличиться в пределах 20 уд/мин,
 - при пульсе 121-140 - прирост 15,
 - 141-160 - прирост 10,
 - больше 161 - прирост 5.
- если изменение на уменьшение пульса, то при любом пульсе больше 100 на следующем 10-секундном участке пульс может снизиться в пределах 30 уд/мин.

Такое стремительное изменение частоты сердечных сокращений за короткий промежуток времени показывает на невозможность применения классических методов спектрального анализа для решения поставленной задачи.

Для выделения полезной информации о сердечной деятельности человека при его физической активности из принимаемого совокупного сигнала был составлен алгоритм, в основе которого лежит обработка методом двойного спектрального анализа. Обобщенный алгоритм представлен на рисунке 5.



Рис. 5. Обобщенный алгоритм обработки методом двойного спектрального анализа

Для оценки работы алгоритма был проведен ряд экспериментов. Контроль точности полученных результатов определялся сигналам, регистрируемым параллельно с помощью электрокардиографа, который при сравнении принимался в качестве эталона.

На рисунке 6 представлен пример анализируемой экспериментальной записи.

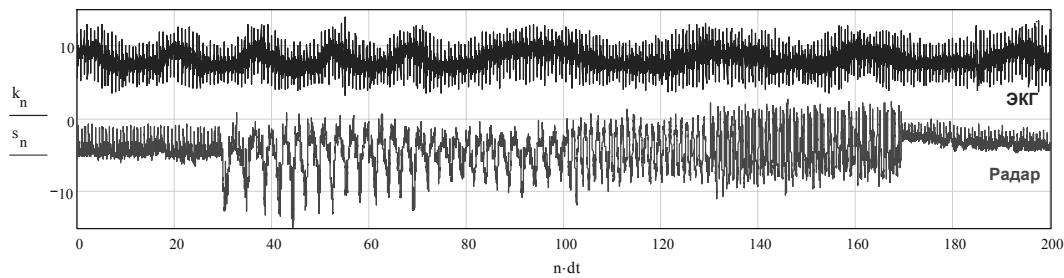


Рис. 6. Пример экспериментальной записи

Представленный на рисунке 6 сигнал имеет изменяющуюся по частоте помеховую составляющую. Диапазон изменения значений частоты помехи 0,3-3Гц. Интервал анализа – 2 секунды. Серым цветом выделены участки, на которых помеховая составляющая отсутствует.

В результате обработки данной реализации с помощью составленного алгоритма был получен результат представленный на рисунке 7. Серым цветом выделены участки, на которых помеховая составляющая отсутствовала.

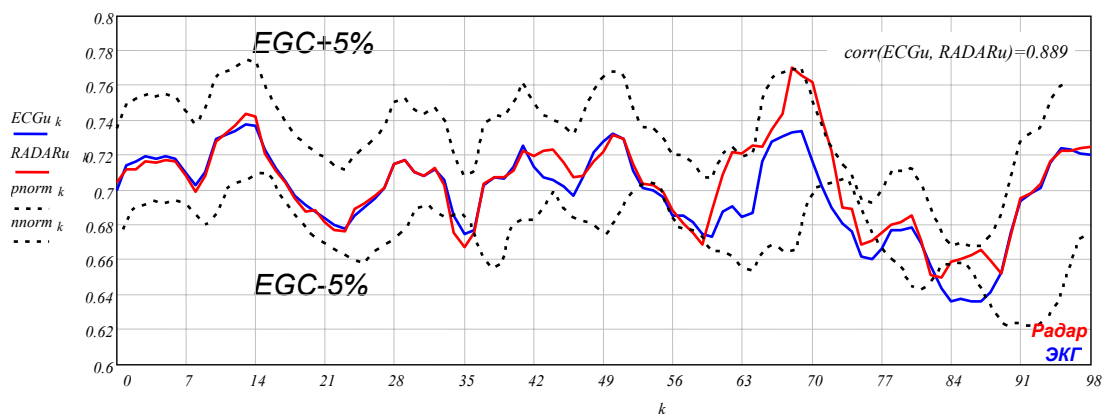


Рис. 7. Результат обработки

Из результата работы алгоритма, представленного на рисунке 7 видно, что ошибка измерения для данной записи не превышает 5%. Коэффициент корреляции между результатом, полученным с помощью СШП радара и результатом, полученным с помощью эталонного электрокардиографа, составляет 0,9.

Заключение

В данном докладе рассматривались экспериментальные данные, полученные при относительно невысоком уровне помех. Поэтому можно считать, что задача определения значения пульса при физических нагрузках решена в первом приближении. При эксплуатации устройства уровень помех может достигать более высоких значений. Следует учесть, что характер помех в данном случае не подчиняется нормальному закону и поэтому характеристики помех подлежат дальнейшему уточнению. Кроме того, решение проблемы усложняется изменением пульса при физической нагрузке в больших пределах. Направление, величина и скорость изменения пульса неизвестны и зависят от действий человека во время физических нагрузок. Скорость изменения пульса может достигать значения 30 удар/мин за 10 секунд. Это указывает на невозможность применения классических методов спектрального оценивания для решения данной задачи. В связи с этим необходимо уменьшать время анализа. Наилучшие результаты работы алгоритма достигаются в случаях, когда на интервале измерения укладываются два импульса пульсовой волны.

Результаты, полученные на основе экспериментальных исследований и представленные в данном докладе, показывают возможность применения алгоритма на основе метода двойного спектрального анализа для измерения параметров сердечного ритма человека при физических нагрузках. На дальнейших этапах работы необходимо повысить помехоустойчивость алгоритма. Для уменьшения вероятности потери сопровождения пульса целесообразно разработать алгоритм предсказания значения ЧСС при непрерывных и продолжительных артефактах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжак И.С., Избранные вопросы теории цепей и обработки сигналов. Москва: «Блок – Информ - Экспресс», 2003.
2. Ширман Я.Д., Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник. Москва: ЗАО «МАКВИС», 1998.
3. Марпл С.Л., Цифровой спектральный анализ и его приложения. Москва. «Мир», 1990.