

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Я. А. Туровский

**ВВЕДЕНИЕ В АНАЛИЗ
ОДНОМЕРНЫХ МЕДИЦИНСКИХ
СИГНАЛОВ**

Учебное пособие для вузов

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Статистические методы	7
2. Спектральный анализ с использованием преобразования Фурье	11
3. Спектральный анализ с использованием вейвлет-преобразования	15
4. Электрокардиография	24
5. Вариабельность сердечного ритма	41
6. Электромиография	58
7. Электроэнцефалография	68
Заключение.....	82
Литература.....	83

Как видно из рис. 0.2, наибольшее количество одномерных сигналов, используемых в современной медицине, приходится на электрофизиологические феномены, меньшее – на акустические и довольно редко анализируются механические и оптические феномены. Однако в историческом плане изначально именно механические феномены активности доминировали по частоте встречаемости в клинико-экспериментальных исследованиях, и только со временем развитие техники отодвинуло эти методики на второй план.

Пособие состоит из двух частей: в первой (разделы 1–3) представлены наиболее распространенные и перспективные методы анализа одномерных сигналов; во второй (разделы 4–7) на примерах часто встречающихся медико-биологических сигналов продемонстрированы возможности их обработки различными методами, даны алгоритмы их обработки и практические рекомендации в области их применения.

1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Любой одномерный сигнал, если его рассматривать в качестве случайного процесса, можно представить в виде выборки значений из генеральной совокупности, которой являются все значения мгновенных амплитуд исследуемого сигнала. Следовательно, сигналу можно дать характеристики, исходя из хорошо известных параметров: среднего, доверительного интервала, среднеквадратического отклонения, параметров распределения и т.д.

Среднее значение мгновенных амплитуд исследуемого сигнала в заданном временном окне позволяет дать характеристику наиболее часто встречающейся амплитуды исследуемого процесса, но только в том случае, если известно среднеквадратическое отклонение, доверительный интервал и распределение выборки.

1.1. Среднее значение

Среднее значение (M) N дискретных величин x_i – в данном случае мгновенных амплитуд исследуемого сигнала – определяется как

$$M = \sum_{i=1}^N x_i / N, \quad (1.1)$$

где индекс i нумерует значения мгновенных амплитуд сигнала x в исследуемом временном ряде.

Помимо *среднего*, для оценки сигнала возможно использование *моды* – наиболее часто встречающегося значения выборки, а также *медианы* – значения, делящего выборку пополам, так что половина наблюдений имеет значения, превышающие медиану, а половина – меньшие.

1.2. Среднеквадратическое отклонение и дисперсия

Эти показатели являются мерой разброса значений вокруг среднего. В общем случае *дисперсия* D рассчитывается как

$$D = \left(\sum_{i=1}^N (x_i - M)^2 \right) / N. \quad (1.2)$$

При этом, если число наблюдений меньше 30, лучше использовать в знаменателе $N - 1$ для более строгого расчета дисперсии.

Среднеквадратическое отклонение σ определяется как

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (1.3)$$

Извлечение квадратного корня из дисперсии обеспечивает получение величины той же размерности, что и у исходной измеряемой величины.

На основе *среднеквадратического отклонения* σ легко рассчитать и *ошибку среднего*:

$$m = \sigma / \sqrt{N}. \quad (1.4)$$

Другими параметрами распределения могут служить *вариационный размах* – разница между максимальным и минимальным значениями выборки и *квантильный размах* – разница между 75-м и 25-м процентилями (75-й百分иль – значение, меньше которого имеют 75 % наблюдений выборки, 25-й – соответствующее значение для 25 % наблюдений).

1.3. Доверительный интервал

Доверительный интервал представляет собой диапазон значений, с заданной вероятностью включающий в себя среднее генеральной совокупности, из которой извлечена выборка. Здесь важно отметить следующее: в анализе медицинских сигналов часто надо учитывать, что они регистрируются в разных состояниях человека. Поэтому формальный перенос данного показателя для анализа иных распределений требует корректного представления о генеральной совокупности. Так, например, часовая запись значений пульса человека между 13.00 и 14.00 пополудни не дает представления о значениях пульса во время сна. В организме существуют и более быстрые процессы, что требует корректной интерпретации показателей среднего и доверительного интервала. Доверительный интервал зависит от параметров распределения, поэтому требуется проявлять осторожность при использовании формул для нормального распределения в случаях иных распределений.

1.4. Форма распределения, нормальность

Важной характеристикой процесса является форма его распределения в заданном временном интервале. Оценить характер распределения можно разными способами. Одним из самых простых является использование понятий асимметрии и эксцесса распределения. Например, если асимметрия, показывающая отклонение распределения от симметричного, существенно отличается от нуля, то распределение несимметрично, в то время как нормальное распределение симметрично. Итак, у симметричного распределения асимметрия равна нулю. Асимметрия распределения с длинным «правым хвостом» положительна. Если распределение имеет