

Компьютерная обработка результатов измерений

Лекция 1. Общие сведения об измерениях. Виды сигналов и методы их анализа

Емельянов Эдуард Владимирович

Специальная астрофизическая обсерватория РАН
Лаборатория обеспечения наблюдений

30 июня 2016 года



- 1 Физические измерения
- 2 Сигналы и их виды
- 3 Методы анализа сигналов
- 4 Обзор программы
- 5 Литература



Физические измерения

Экспериментальное определение значения измеряемой величины с применением средств измерений называется **измерением**.

Важнейшей особенностью измерений является *принципиальная невозможность получения результатов измерения, в точности равных истинному значению измеряемой величины* (особенно эта особенность проявляется в микромире, где господствует принцип неопределенности). Эта особенность приводит к необходимости оценки степени близости результата измерения к истинному значению измеряемой величины, т.е. вычислять **погрешность измерения**.



Виды измерений

Статическими называют такие измерения, при которых зависимость погрешности измерения от скорости измерения пренебрежимо мала и ее можно не учитывать. **Динамические** измерения противоположны статическим.

Результаты **прямых** измерений находят непосредственно из опыта, **косвенных** же измерений — путем расчета по известной зависимости измеряемой величины от величин, находимых прямыми измерениями (например, измерение мощности).

Совместное измерение — одновременное измерение нескольких неоднoименных величин для нахождения зависимости между ними (например, ВАХ диода).

Совокупное измерение — это проведение ряда измерений нескольких величин одинаковой размерности в различных сочетаниях с нахождением искомых величин из решения системы уравнений (например, измерение R включенных треугольником резисторов).



Представление результатов

Табличное

Позволяет избежать многократной записи единиц измерения, обозначений измеряемой величины, используемых множителей. В таблицы, помимо основных измерений, могут быть включены и результаты промежуточных измерений.

Для удобства импортирования данных и одновременно наглядности чтения удобно хранить в формате TSV. SED позволит легко преобразовать TSV в таблицу латеха.

Графическое

На основе графика легко можно сделать вывод о соответствии теоретических представлений данным эксперимента, определить вид функциональной зависимости измеряемой величины.



Сигналы и их виды

Если некоторая изменяющаяся величина измеряется непрерывно (или квазинепрерывно), мы имеем дело с потоком информации, или **сообщением**. В теории информации физический процесс, значения параметров которого отображают передаваемое сообщение, называется **сигналом**.

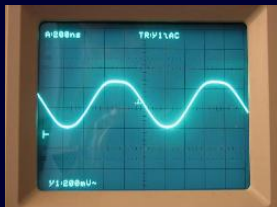
Модуляция–демодуляция. Зашумление. **Помехи**: аддитивные, мультипликативные, фазовые.



Виды сигналов

Аналоговый

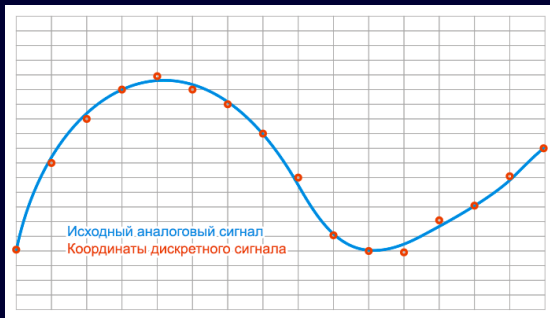
Описывается непрерывной (или кусочно–непрерывной) функцией $x(t)$:
 $t \in [t_0, t_1]$, $x \in [x_0, x_1]$. Аудиосигналы, телевизионные сигналы.



Виды сигналов

Дискретный

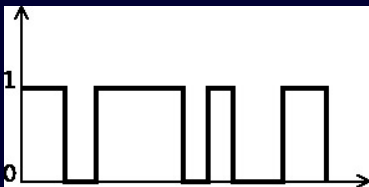
Описывается решетчатой функцией (последовательностью, временным рядом) $x(nT)$: $x \in [x_0, x_1]$, $n = \overline{1, N}$, T – интервал дискретизации. Величину $f = 1/T$ называют *частотой дискретизации*. Если интервал дискретизации является постоянной величиной, дискретный сигнал можно задать в виде ряда $\{x_1, \dots, x_N\}$.



Виды сигналов

Цифровой

Описывается квантованной решетчатой функцией и отличается от обычного дискретного сигнала тем, что каждый уровень квантования кодируется двоичным кодом. Таким образом, если величина $x \in [x_0, x_1]$ квантуется N разрядным кодом, для обратного представления из кода K_x в значение x применяется преобразование: $x = x_0 + K_x \cdot (x_1 - x_0)/2^N$. К цифровым сигналам относятся сигналы, используемые в системах связи с импульсно-кодовой модуляцией.



Дискретизация

Дискретизация строит по заданному аналоговому сигналу $x(t)$ дискретный сигнал $x_n(nT)$, причем $x_n(nT) = x(nT)$. Операция **восстановления** состоит в том, что по заданному дискретному сигналу строится аналоговый сигнал.

Теорема Котельникова–Найквиста

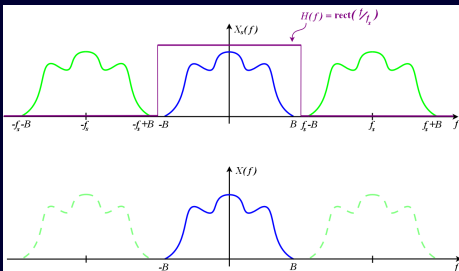
- любой аналоговый сигнал может быть восстановлен с какой угодно точностью по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой $f > 2f_c$, где f_c – максимальная частота, которой ограничен спектр реального сигнала;
- если максимальная частота в сигнале равна или превышает половину частоты дискретизации (наложение спектра), то способа восстановить сигнал из дискретного в аналоговый без искажений не существует.



Теорема Котельникова–Найквиста

$$X_s(f) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n=-\infty}^{\infty} T \cdot x(nT) e^{-i2\pi nTf}$$

$$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \cdot \underbrace{T \cdot \text{rect}(Tf) \cdot e^{-i2\pi nTf}}_{\mathcal{F}\left\{\text{sinc}\left[\frac{\pi}{T}(t-nT)\right]\right\}}$$



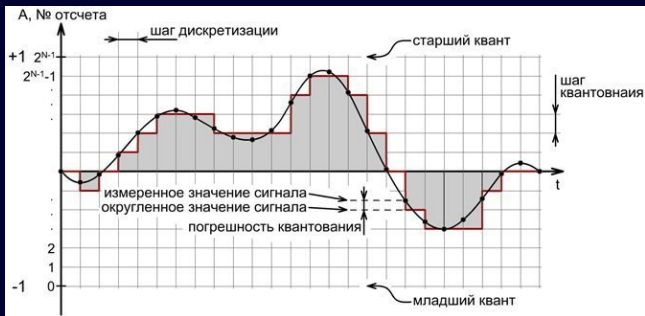
Формула Уиттекера–Шеннона

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \cdot \text{sinc}\left[\frac{\pi}{T}(t - nT)\right]$$



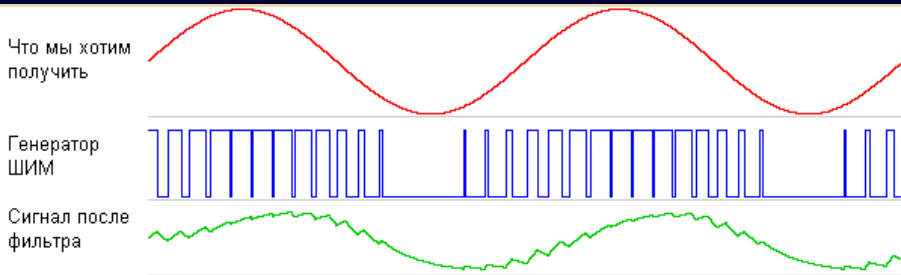
Квантование

Для преобразования дискретного сигнала в цифровой вид применяется операция **квантования** или **аналогово-цифрового преобразования** (АЦП), которая по заданному дискретному сигналу $x_n(nT)$ строит цифровой кодированный сигнал $x_d(nT)$, причем $x_n(nT) \approx x_d(nT)$. Обратная квантованию операция называется операцией **цифро-аналогового преобразования** (ЦАП).



Квантование

Для преобразования дискретного сигнала в цифровой вид применяется операция **квантования** или **аналогово-цифрового преобразования** (АЦП), которая по заданному дискретному сигналу $x_n(nT)$ строит цифровой кодированный сигнал $x_d(nT)$, причем $x_n(nT) \approx x_d(nT)$. Обратная квантованию операция называется операцией **цифро-аналогового преобразования** (ЦАП).



Методы анализа сигналов

Группы методов

В **пространственной области** над сигналом производят какие-либо преобразования, одинаковые для всего сигнала (аддитивные, мультипликативные или матричные) — бинаризация, гистограммы, свертка, выделение компонент, сглаживание. . .

В **частотной области** работа производится не с сигналом, а с его спектром (обычно Фурье) — свертка через Фурье, сглаживание /фильтрация, выделение деталей, деконволюция. . .

Процесс зашумления сигнала $x(t)$ импульсной (аппаратной) функцией шума $n(t)$ описывается сверткой: $x'(t) = x(t) \otimes n(t)$. В пространстве Фурье:

$$\mathcal{F}(x'(t)) = \mathcal{F}(x(f)) \cdot \mathcal{F}(n(t)) \text{ или } X'(f) = X(f) \cdot N(f).$$

$N(f)$ – передаточная функция.



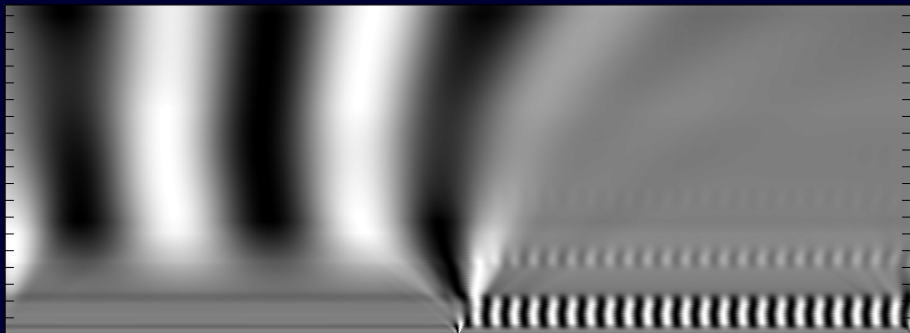
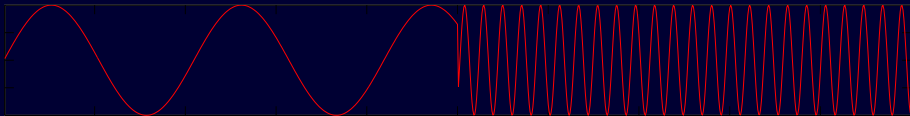
Локализованный в пространственной и частотной области набор ортонормированных функций.

$$T_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{m,n}^*(t) dt,$$

$$x(t) = K_{\psi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} T_{m,n} \psi_{m,n}(t).$$

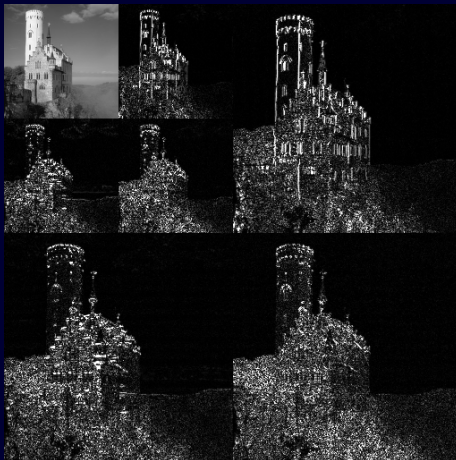


Вейвлет-анализ



Вейвлет-анализ

Детализирующие и аппроксимирующие коэффициенты



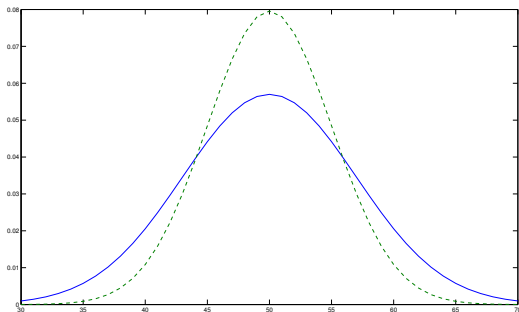
Обзор программы

- Статистика и вероятность. Случайные величины и распределения
- Теория физических измерений. Систематические и случайные погрешности
- Теория оценок
- Системы уравнений. Степенные и дифференциальные уравнения
- Анализ временных рядов. Фурье– и Вейвлет–анализ
- Обработка изображений



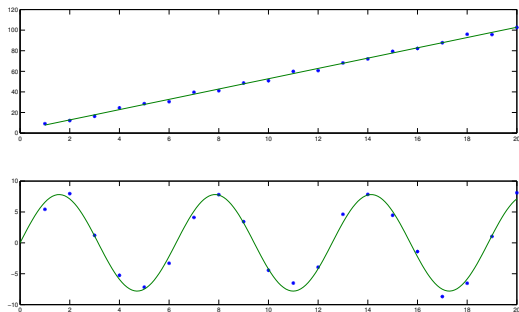
Статистика и вероятность

Вероятность, плотность вероятности, закон больших чисел, характеристики набора случайных величин, законы распределения, корреляция и ковариация, шум, SNR.



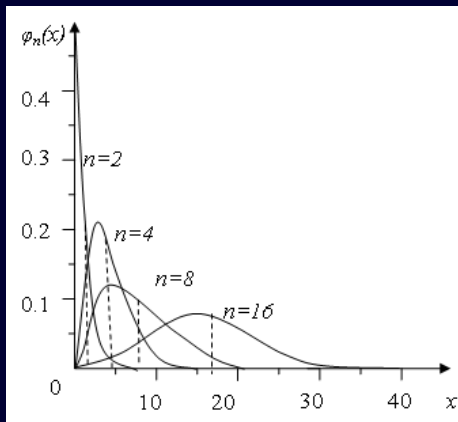
Теория физических измерений

Меры и значения величин, абсолютная и относительная погрешности, промахи, систематические и случайные погрешности, класс точности прибора, доверительный интервал, критерий Стьюдента, правила вычисления погрешностей косвенных измерений, аппроксимация наименьшими квадратами.



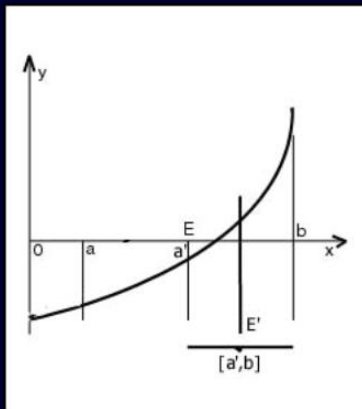
Теория оценок

Правило „трех сигм“, теорема Ляпунова, распределение χ^2 , распределение Стьюдента, оценки: их виды и надежность.



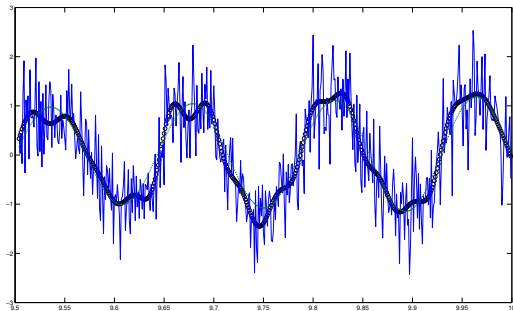
Системы уравнений

Методы решения систем линейных уравнений: Гаусса, простой итерации, Зейделя, наименьших квадратов, численные методы; степенные и прочие нелинейные уравнения и метод бисекции; численное интегрирование (прямоугольник, трапеция, Симпсона); обыкновенные дифференциальные уравнения.



Анализ временных рядов

Аппроксимация, интерполяция, сплайны, преобразование Лапласа, Z-преобразования, ряды Фурье, Фурье-преобразование, Фурье-фильтрация, вейвлет-анализ и вейвлет-фильтрация.



Обработка изображений

Цифровые изображения, модели цветовых пространств; преобразования в пространственной области: логарифмическое преобразование, растяжение контрастности, свертка с различными масками, медианный фильтр; гистограмма и эквализация гистограммы; преобразования в частотной области: ДПФ, частотные фильтры; ФРТ и ОПФ; адаптивная медианная фильтрация; инверсная и винеровская фильтрация; геометрические преобразования изображений; вейвлет-преобразования; морфологические операции; проблема распознавания изображений.



Основная литература



Интернет–энциклопедия: <http://wikipedia.org> (Википедия).



Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2012. — 1104 с.



Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та., 2001. — 58 с.



Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. — М.: Техносфера, 2006 — 616 с.



Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. — Изд. 7-е, стер. — М.: Высш. шк., 2001. — 479 с.



Говорухин В., Цибулин В. Компьютер в математическом исследовании. Учебный курс. — СПб.: Питер, 2001. — 624 с.









Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2005. — 604 с.



Чен К., Джиглин П., Ирвинг А. MATLAB в математических исследованиях: Пер. с англ. — М.: Мир, 2001. — 346 с.



Дополнительная литература

-  Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. — М.: Высш. шк., 1987. — 630 с.
-  Кнут Д. Э. Все про T_EX./ Пер. с англ. М. В. Лисиной. — Протвино: АО RDT_EX, 1993. — 592 с.: ил.
-  Львовский С. М. Набор и верстка в системе L^AT_EX. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: МЦНМО, 2003. — 448 с.
-  Физическая энциклопедия/ Гл. ред. А.М. Прохоров. — М.: Сов. энциклопедия. Тт. I – V. 1988.
-  Цифровая обработка сигналов: Справочник/ Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. — М.: Радио и связь, 1985. — 312 с., ил.
-  Pan G. W. Wavelets in electromagnetic and device modeling. — John Wiley & Sons, Inc., Hobocen, New Jersey, 2003. — 531 p.



Спасибо за внимание!

mailto

eddy@sao.ru

edward.emelianoff@gmail.com

