

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Год С.С.

Башкирский государственный университет

Звуковые сигналы относятся к нестационарным стохастическим процессам. В связи с этим анализ их характеристик является весьма серьезной технической и методической проблемой [1,2]. В ряде случаев вполне приемлемым вариантом решения этой проблемы является визуальный анализ мгновенных и усредненных за конечный интервал времени статистических и спектральных характеристик сигналов в реальном масштабе времени. Такой подход к анализу характеристик нестационарных процессов был использован в данной работе.

Для анализа характеристик звуковых сигналов была разработана специальная компьютерная программа. Программа предназначена для визуального наблюдения в реальном масштабе времени осциллограмм, фазовых характеристик, одномерной функции распределения, частотных спектров, автокорреляционной и взаимной корреляционной функции одного или нескольких сигналов по двум независимым каналам. В зависимости от типа используемой звуковой платы нижняя граничная частота рабочего диапазона анализа характеристик сигналов составляет $3 - 20$ Гц. Верхняя граничная частота рабочего диапазона, начиная с тактовой частоты 44 кГц, лежит в пределах $18 - 22$ кГц.

Программа работает в составе персонального компьютера, выполненного на основе совместимых микропроцессоров Intel Pentium - Intel Pentium 4 и оснащенного современной звуковой платой. В процессе работы программы возможен оперативный выбор одного из шести режимов работы: Двухканальный осциллограф сигналов $X(t)$ и $Y(t)$; представление двух сигналов на фазовой плоскости $Y(X(t))$; вычисление и отображение спектральной плотности мощности; вычисление и отображение автокорреляционной функции; вычисление и отображение взаимной корреляционной функции; вычисление и отображение одномерной функции распределения.

Двухканальный осциллограф сигналов

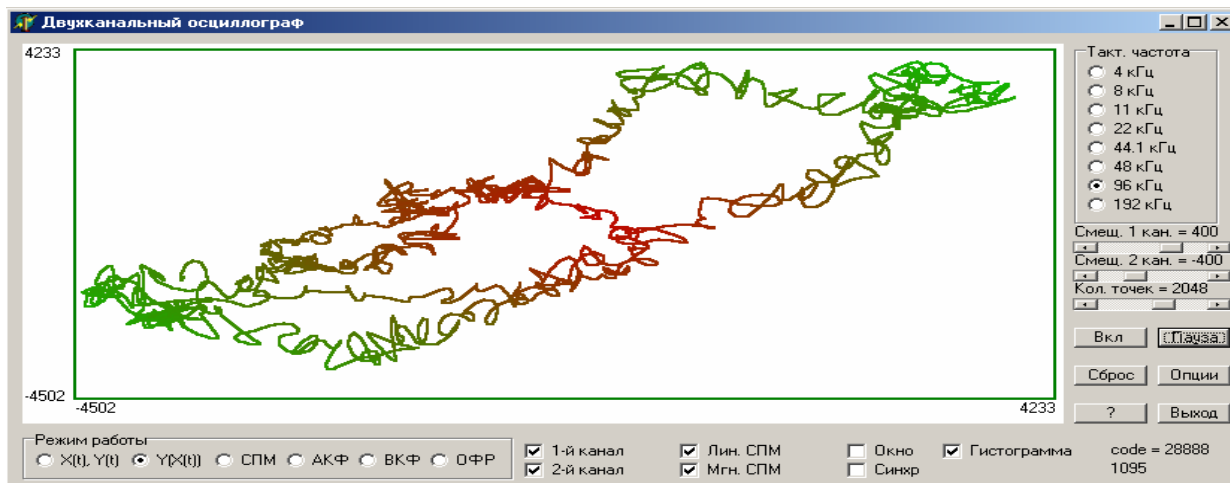
В этом режиме на экране возможно наблюдение в реальном времени осциллограмм одного или двух сигналов. В режиме отображения осциллограмм возможна установка или снятие принудительной синхронизации. Имеется также регулируемая задержка сигнала второго канала относительно сигнала первого канала. Несомненным достоинством данного цифрового осциллографа перед соответствующими аналоговыми приборами является возможность запоминания на неограниченное время осциллограмм сигналов. Особенно это важно при изучении хаотических и случайных процессов, у которых форма осциллограмм меняется во времени. Для удобства одновременного наблюдения двух осциллограмм предусмотрена возможность независимого их смещения по вертикали.

Изменение временного масштаба отображения осциллограмм, т.е. скорости развертки, осуществляется путем изменения тактовой частоты ввода в пределах от 4 до 192 кГц, а также путем изменения количества отображаемых отсчетных значений. В отличие от известных аналогов, в программе предусмотрена регулируемая по уровню порога срабатывания автоматическая нормировка размеров изображения осциллограмм

по вертикали. Оптимальный подбор порога срабатывания позволяет получить наиболее полное представление о динамике изменения амплитуд нестационарных сигналов во времени.

Отображение сигналов на фазовой плоскости

В этом режиме на экране отображается взаимосвязь изменения сигналов во времени. При этом отклонение по вертикали определяется сигналом первого канала, а отклонение по горизонтали – сигналом второго канала. В частном случае при анализе периодических сигналов на экран выводятся так называемые фигуры Лиссажу. При нажатии клавиши «Пауза» происходит запоминание фазовых траекторий сигналов. Особенностью программы является переменная окраска фрагментов фазовых траекторий в зависимости от мгновенных величин сигналов, отображаемых в соответствующие моменты времени. Для удобства наблюдения фазовых траекторий предусмотрена возможность независимого смещения графиков по вертикали и горизонтали. Изменение детализации фазовых траекторий возможно путем изменения тактовой частоты дискретизации сигналов в пределах от 4 до 192 кГц, а также путем изменения количества отображаемых точек. При построении графиков предусмотрена регулируемая по уровню порога срабатывания автоматическая регулировка размеров изображения фазовых траекторий по горизонтали и вертикали. Для компенсации или искусственного введения фазовых сдвигов сигналов в программе имеется регулируемая задержка сигнала второго канала относительно сигнала первого канала. При подаче на входы первого и второго каналов одного и того же сигнала (монофонический режим) на экране происходит отображение этого сигнала на псевдофазовой плоскости. Особенно наглядно и художественно эффектно на фазовой плоскости в динамике отображаются хаотические сигналы, например, речевые и музыкальные стерео сигналы (см. рис.1).



**РИС.1. ОТОБРАЖЕНИЕ НА ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ
ФРАГМЕНТА МУЗЫКАЛЬНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ. НА
ГРАФИКЕ ЧЕТКО РАЗДЕЛЯЮТСЯ НЧ И ВЧ
СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИГНАЛА.**

Измерение спектральной плотности мощности

В этом режиме на экране возможно наблюдение в реальном времени мгновенной и усредненной по заданному количеству реализаций одномерной спектральной плотности мощности (СПМ) одного или двух сигналов. Усреднение амплитуд спектральных составляющих СПМ выполняется с помощью рекурсивного цифрового фильтра по заданному в пределах от 1 до 100 количеству реализаций. Для вычисления спектральных характеристик сигналов в программе используется модифицированный алгоритм быстрого преобразования Фурье [3]. Отображение СПМ возможно как в линейном, так и двойном логарифмическом масштабах.

При анализе СПМ возможен выбор одного или двух активных каналов. Для повышения разрешающей способности спектрального анализа и уменьшения влияния краевых эффектов [4] предусмотрена возможность включения модифицированного косинусного временного выделяющего окна. При нажатии клавиши «Пауза» происходит фиксация на экране компьютера мгновенного и усредненного графиков СПМ.

Выбор диапазона анализируемых частот осуществляется путем установки тактовой частоты дискретизации сигналов в пределах от 4 до 192 кГц, а также путем изменения количества обрабатываемых отсчетных значений. Для удобства наблюдения динамики изменения во времени спектров нестационарных процессов в программе предусмотрена регулируемая по уровню срабатывания автоматическая регулировка (нормировка) размеров изображения СПМ по вертикали. При использовании звуковых плат Audigy-2 динамический диапазон измерения СПМ по линейным входам достигает 105 дБ.

Режим отображения автокорреляционной функции

В этом режиме на экране возможно наблюдение в реальном времени мгновенной и усредненной по заданному количеству реализаций автокорреляционной функции (АКФ) одного или двух сигналов (см. рис.2.).

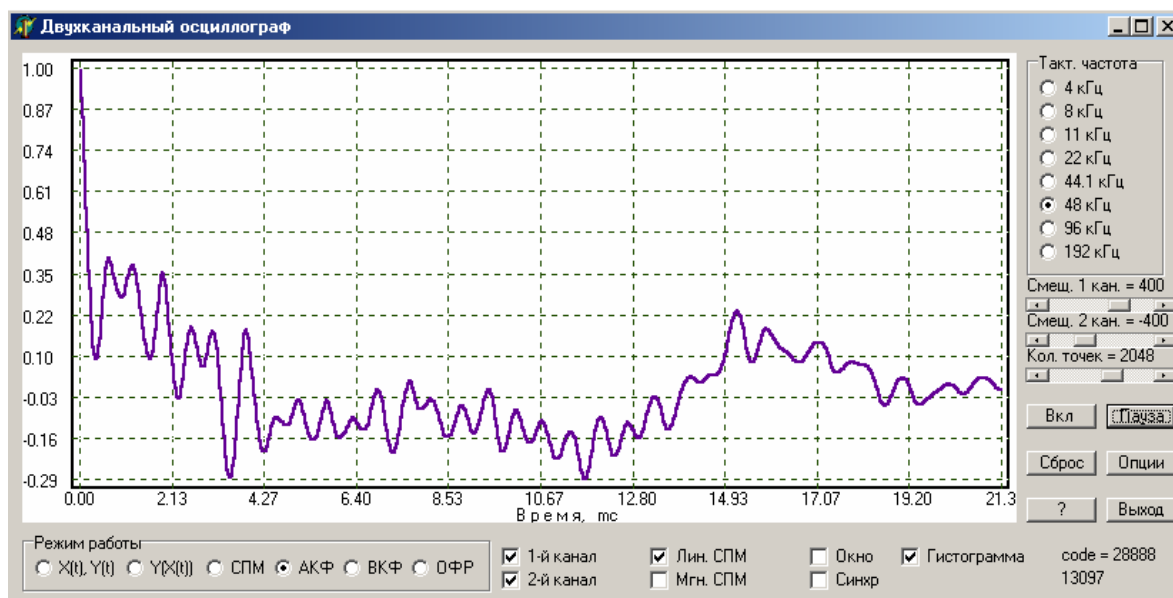


Рис.2. Режим наблюдения усредненной по пяти реализациям АКФ музыкального сигнала. На графике можно легко разделить три составляющих сигнала, различных по динамике изменения во времени.

Для повышения точности статистических оценок при вычислении АКФ сигналов в программе используется алгоритм сильно коррелированных выборок [3]. На экране отображается нормированный график АКФ в линейном масштабе. При нажатии клавиши «Пауза» происходит запоминание на неограниченное время графика АКФ.

Выбор временных масштабов анализа и отображения АКФ возможно путем изменения тактовой частоты ввода в пределах от 4 до 192 кГц, а также путем изменения количества обрабатываемых отсчетных значений. Для удобства наблюдения динамики изменения во времени корреляционных характеристик нестационарных процессов в программе предусмотрена автоматическая регулировка размеров (нормировка) изображения АКФ по вертикали.

Режим отображения взаимной корреляционной функции

В этом режиме на экране возможно наблюдение в реальном времени мгновенной и усредненной по заданному количеству реализаций взаимной корреляционной функции (ВКФ) двух сигналов. Количество реализаций, по которым осуществляется усреднение ВКФ, может меняться в пределах от 1 до 100. Для вычисления ВКФ сигналов в программе используется алгоритм сильно коррелированных выборок. ВКФ отображается в линейном масштабе с нормировкой по максимальному значению.

Измерение одномерной функции распределения

В этом режиме на экране возможно наблюдение в реальном времени мгновенной и усредненной по заданному количеству реализаций одномерной функции распределения (ОФР) одного или двух сигналов (см. рис.3.) Предусмотрена установка количества реализаций, используемых для усреднения ОФР, и количества полос распределения ОФР. Учитывая отсутствие постоянной составляющей в обрабатываемых сигналах, для вычисления ОФР в программе используется алгоритм с нормировкой величины отклонения сигнала от нуля [3]. Предусмотрена ручная установка порога срабатывания или отключения такой нормировки исходя из компромиссного выбора между уровнем искажения формы распределения и детальностью отображения распределения в пределах выбранных полос. Отображение усредненной ОФР может происходить как в виде гистограммы, так и в виде графика с линейной интерполяцией. Для удобства наблюдения динамики изменения во времени статистики нестационарных процессов в программе предусмотрена регулируемая по уровню срабатывания автоматическая регулировка размеров изображения ОФР по вертикали.

Разработанная компьютерная программа успешно прошла апробацию в учебном процессе при подготовке специалистов в области радиопизики и связи. Особенно успешно с помощью данной программы осуществляется выявление, анализ и демонстрация практически всех видов погрешностей, связанных с цифровой обработкой звуковых сигналов [5].

Литература

1. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть

1. Случайные процессы. М.: Наука, 1976, 494 с.

2. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981, 640 с

3. Гоц С.С. Основы описания и компьютерных расчетов характеристик случайных процессов в статистической радиофизику. Уфа, 2005, 166 с

4. Гоц С.С. Основы построения и программирования автоматизированных систем цифровой обработки сигналов. – Уфа, 2004, 168 с.

5. Гоц С.С. Анализ погрешностей цифровой обработки звуковых сигналов. - Материалы докладов на 7-й Международной конференции “Цифровая обработка сигналов и ее применение”, Москва, 2005, С.131-133

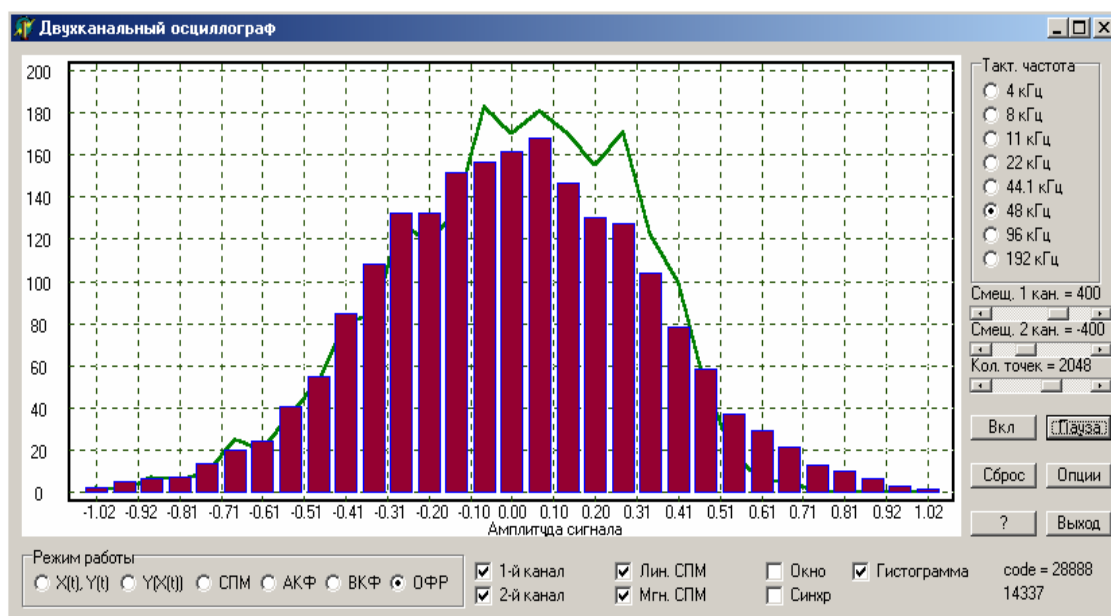


Рис.3. Режим наблюдения усредненной по пяти реализациям (гистограмма) и мгновенной (линейный график) одномерной функции распределения музыкального сигнала.

COMPUTER PROGRAM FOR SPECTRAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF SOUND SIGNALS

Ghots S.

Bashkir State University

The sound signals are non-stationary stochastic processes. In this connection analysis of their characteristics is highly serious technical and methodical problem. In some cases as compromise variant this problem solving it may be doing by the visual analysis of momentary and averaged spectral and statistical signal characteristics on a real time basis. Such approach to analysis of the non-stationary process characteristics was used in this work.

The special computer program was designed for analysis of spectral and statistical characteristics of sound signals. Program is intended for visualization in real time change the signals during time, phase characteristics, one-dimension distribution function, frequency spectra, auto-correlation and cross-correlation functions of one or several signals through two independent channels.

In mode of dual-link oscilloscope one possible to observe on computer screen of one or two signals representations. The quantity of samples at one realization can be setting of values from 128 to 16384. The digitization frequency can be setting within range from 4 to 192 kHz. It provides the changing of speed scanning or

varies the time-base scale by a factor above parameters setting. Unlike known analogues the program has automatic normalization sizes of image at the screen. This procedure has the controlled level of threshold action.

In mode of phase plane image of signals the vertical deflection of curve is defined by the first channel signal and the horizontal deflection of curve is defined by the second channel signal. This program function also has the controlled level of threshold action of automatic normalization sizes of phase plane image at the screen. The controlled delay of second channel signal relative to first channel signal provide the compensation or putting additional value of phase delay between the signals.

In mode of PSD measuring the one dimension signal power spectral density is displayed at the screen. PSD can be present as instantaneous or as averaged on given amount of realization one. Averaging of power spectral density is executed by means of recursive digital filter on given amount of realization. The modify algorithm of fast Fourier transform is used in this program. The power spectral density frequency dependence is displayed at line or at two-logarithm scale. For improvement of spectral analysis is provided the possibility on-off switching mode of -modified cosine time selective windows.

In mode of ACF the auto-correlation function of one or two signals is displayed at the screen in real time. ACF may be displayed as momentary or as averaged on given amount of realizations. For the best result of calculation