

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

А.М. Бонч-Бруевич, И.А. Беляев, Д.А. Сошнева, С.Ю. Евтеева

Рассматриваются особенности контурного анализа изображений применительно к графическим спектрограммам как инструмент повышения точности оценки параметров математических моделей речевого сигнала. Представлен подход к организации хранения данных о массиве контуров, описывающих речевой сигнал с высокой точностью. Показана возможность применения аппроксимации контуров формант для повышения качества звучания синтезированной речи

Ключевые слова: некриптографическая защита информации, математическая модель речевого сигнала, контурный анализ изображений, графическая спектрограмма

Одним из наиболее распространенных в теории и практике информационной безопасности /1/ способов некриптографической защиты информации являются методы, основанные на зашумлении сообщений с последующей их очисткой от помех и восстановления.

Одной из серьезных проблем в данной области является проблема построения математических моделей речевого сигнала. Как показано в /2/, речевой сигнал обладает сложной полимодуляционной структурой, что затрудняет создание адекватной модели. На сегодняшний день наибольшее распространение получили модели, описывающие речевой сигнал совокупностью гармонических составляющих вида /3/:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \cdot \cos(2\pi F_i(t - \tau_i)),$$

где $A_i(t)$ - изменение амплитуды гармоники во времени;

$F_i(t)$ - изменение частоты гармоники во времени;

τ_i - фазовый сдвиг гармоники во времени.

Однако на практике применение таких моделей ограничивается сложностью

определения их параметров. Определение параметров моделей осложняется при действии помех, искажающих структуру сигнала. Для решения задачи повышения точности оценки параметров математических моделей речевого сигнала можно использовать методы обработки изображений применительно к графической спектрограмме речевого сигнала.

Достаточно эффективным инструментом выделения формантной структуры речевого сигнала по его графической спектрограмме является контурный анализ /4/. Из графической спектрограммы речевого сигнала, показанной на рисунке 1, выделяются контура, соответствующие трекам локальных максимумов изменения спектра в частотно-временной области. Каждый из выделенных контуров является не замкнутой линией, содержащей информацию об изменении мгновенной частоты и амплитуды компонента речевого сигнала (речевого вокализма). При этом учитываются следующие особенности речевого сигнала – известные значения средней скорости изменения частоты основного тона, минимальное расстояние между отдельными гармониками, взаимная корреляция уровня сигнала для соседних следов фонообъектов. Это позволяет повысить точность выделения контуров по спектрограмме, даже при высоком (отношение сигнал/шум в полосе 0.3 - 3.4 кГц - 5 дБ) уровне шумов. На рис. 1 показан фрагмент спектрограммы речевого сигнала.

Бонч-Бруевич Андрей Михайлович – МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук, доцент тел.(495) 632-22-47

Беляев Иван Алексеевич - ВИ МВД России, соискатель, тел. (4732) 62-33-76

Сошнева Дарья Алексеевна - ВИ МВД России, адъюнкт, тел. (473) 262-32-39

Евтеева Софья Юрьевна - МГТУ им. Н.Э. Баумана, студент, тел. (495) 632-22-47

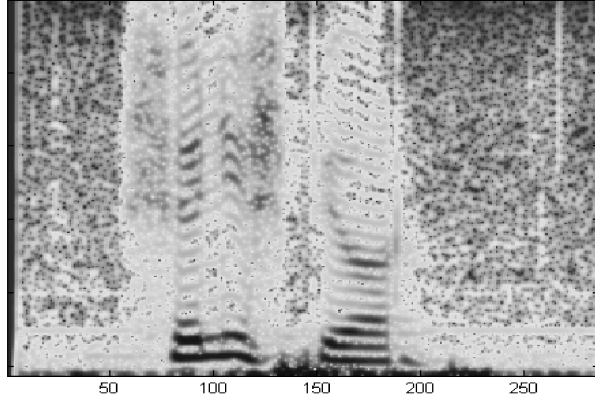


Рис.1. Графическая спектрограмма речевого сигнала

Информативными параметрами, описывающими речевой сигнал, являются величина изменения амплитуды и частоты в пределах одного контура, средняя длительность контура, максимальное значение скорости изменения амплитуды и частоты, коэффициент корреляции между соседними контурами и т.д.

Выделение контуров представляет собой задачу векторизации изображения. Особенности решения этой задачи при обработке спектрограмм показаны на рис. 2.

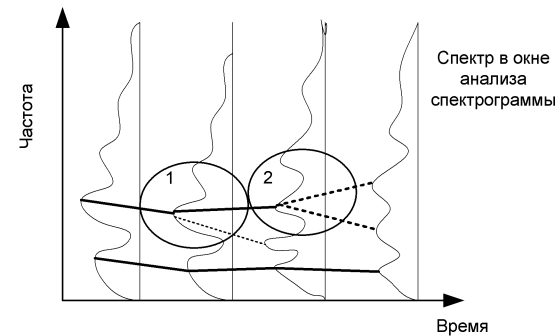


Рис. 2. Особенности формирования контуров по графической спектрограмме

Жирными линиями на рис. 2 показаны выделенные контура, описывающие изменение частоты форманты по времени и амплитуде. В ситуации 2 контура завершается, так как характерного максимума не удается выделить. Кроме того, при выделении контуров на спектрограмме учитывается, что длительность вокализованных участков речевого сигнала, как правило, не превышает 200 мс. Чем длинней контур, тем

лучше должны быть условия для его продолжения.

На рис. 3 показаны выделенные цветом и интенсивностью контура, относящиеся к речевому сигналу по характерным признакам – длительности, интенсивности, девиации частоты и пик-фактору /5/.

Так как каждый контур обладает своими уникальными характеристиками, то возможно представление каждого контура как независимого сигнала. Для каждого из таких сигналов могут быть определены правила оценки принадлежности к речевому сигналу или к помехе, причем таким образом можно анализировать не только помеху типа «белый шум», но и речеподобные помехи или помехи с характерной структурой (шум транспорта, толпы и т.д.).

При обработке информация о совокупности контуров храниться в массиве записей M1, в котором для каждого контура определены вектора изменения амплитуды и частоты, время начала и длительность (последняя может быть получена и из размерности массива амплитуд и частоты дискретизации). Этот массив соотноситься с другим массивом M2, описывающим то, какие контура из массива M1 существуют в каждый момент времени анализа. Структуры массивов, использованных для хранения контуров, описывающих спектрограмму, приведены в таблицах 1 и 2.

Структура массива записей M1

№ п.п	Массив амплитуд	Массив частот	Начало контура
1	A_1	F_1	T_1
2	A_2	F_2	T_2
...
N	A_N	F_N	T_N

Структура массива записей M2

Отсчеты времени	Индексы массива M1, соответствующие контурам, определенным в заданный момент
t_1	L_1
t_2	L_2
...	...
t_N	L_N

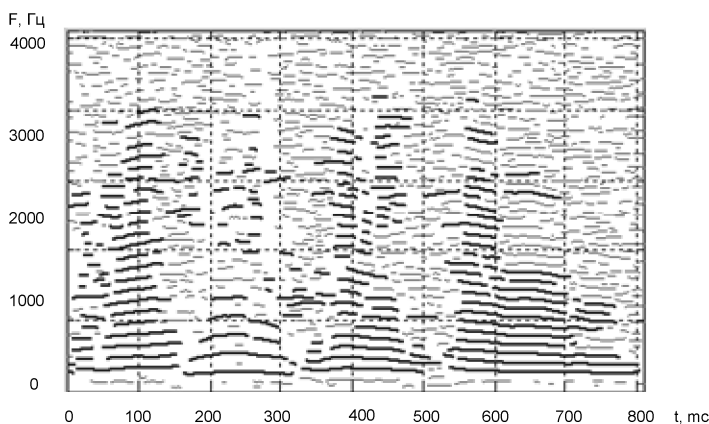


Рис. 3. Контурный массив, описывающей спектрограмму

Представление графической спектрограммы как массива отдельных контуров дает следующие новые возможности в областях анализа, синтеза, обработки и классификации речевых сигналов:

- возможность классифицировать сигналы в графической спектрограмме по длительности, амплитуде, частоте девиации;
- возможность определить сигнал по заданным критериям;
- работа с отдельными контурами, например, воспроизведение только контуров, среднее значение которых выше заданного порога;

Кроме того, возможность обрабатывать каждый контур по отдельности обеспечивает новые возможности повышения качества шумоочистки за счет возможности аппроксимации контура в пространстве частот и амплитуд. Рассмотрим характерные искажения спектрограммы, возникающие при шумоочистке методом спектрального вычитания или амплитудной селекции.

На рис. 4 в качестве примера показана спектрограмма речевого сигнала при соот-

ношении сигнал-шум свыше 20 дБ (запись высокого качества), и спектрограмма того же сигнала после шумоочистки с использованием метода амплитудной селекции. В очищенном сигнале присутствуют только те частоты, которые были выше уровня помех. Очевидно, это приводит к тому, что длительность контуров сокращается, так как участки начала и конца контура (участки роста и спада амплитуды) оказываются ниже уровня шумов и отсекаются при очистке.

Выделение контуров на графической спектрограмме позволяет решить задачу повышения качества звучания синтезированного сигнала за счет аппроксимации контуров, причем как для массива амплитуд, так и для массива частот. Применение аппроксимации контуров позволяет существенно снизить уровень «музыкальных» помех, обусловленных наличием коротких линий на спектрограмме, и повысить качество звучания за счет восстановления гармонической структуры сигнала.

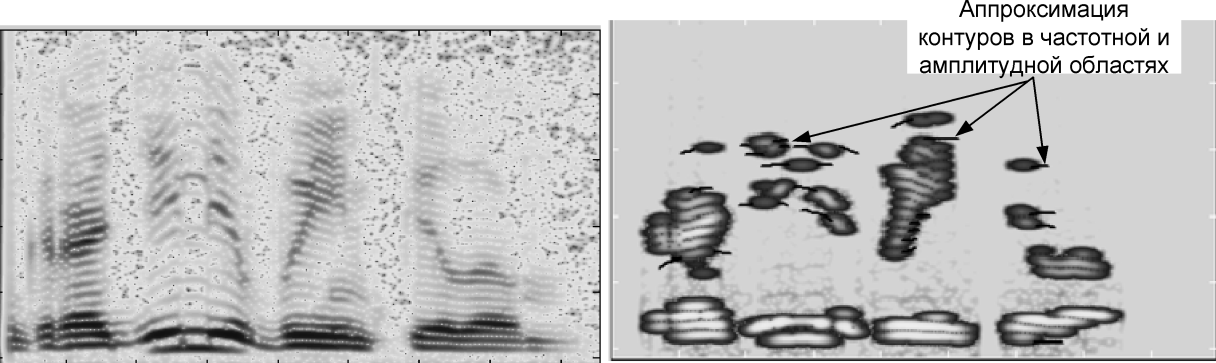


Рис. 4. Спектрограмма чистого сигнала, и выделенные области спектрограммы после амплитудной селекции

Таким образом, применение методов контурного анализа изображений графических спектрограмм позволяет не только получить формализованное и структурированное математическое описание речевого сигнала, но и обеспечивает возможность реализации алгоритмов реконструкции структуры сигнала после выполнения шумоочистки.

Литература

1. Основы информационной безопасности: учебник для высших учебных заведений МВД России / под ред. В.А. Минаева и С.В. Скрыля. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2001. – 464 с.

2. Голубинский А.Н., Булгаков О.М. Система аутентификации личности по голосу на основе модуляционных математических моделей речевого сигнала. // Информация и безопасность. – Вып. 3. – Воронеж: ВГТУ, 2011. – С. 141 – 144.

3. Цифровая шумоочистка аудиоинформации / под ред. А.В. Петракова. - М.: ИП РадиоСофт, 2011. - 208 с.

4. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / под ред. Я.А. Фурмана. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.

5. Горелик А.Л. Скрипкин В.А. Методы распознавания. Учебное пособие для вузов. – М.: «Высшая школа», 1977. – 222 с.

Воронежский институт МВД России
The Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

USING THE CONTOUR ANALYSIS OF THE SCENES FOR PROCESSING SPEECH SIGNAL

A.M. Bonch-Bruevich, I.A. Belyaev, D.A. Soshneva, S.Yu. Evteeva

Particularities of the contour analysis of the scenes are considered to graphic spectrogram with reference to as instrument of increasing to accuracy of the estimation parameter mathematical models of the speech signal. The presented approach to organizations of keeping given sidebar about array, describing speech signal with pinpoint accuracy. It is shown possibility of the using to aproximations sidebar formants for increasing quality звучания synthesized speech

Key words: noncryptographic protection to information, mathematical model of the speech signal, contour analysis of the scenes, graphic spectrogram