

ПРИНЦИПЫ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОВЕРКИ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ ФОНОГРАММАХ

Рассмотрены принципы, положенные в основу проектирования и разработки программы для проверки целостности информации в цифровых фонограммах и идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи. Показаны требования, предъявляемые к такой программе, которые привели к широким исследованиям некоторых аспектов обработки информации, в частности, к технологии выделения мультифрактальных структур и их обработки, и предопределили алгоритм разработки программного обеспечения.

Ключевые слова: мультифракталы, цифровая звукозапись, программное обеспечение, программный продукт, экспертиза.

Розглянуто принципи, покладені в основу проектування та розробки програми для перевірки цілісності інформації в цифрових фонограмах та ідентифікації апаратури цифрового звукозапису. Показані вимоги, що висувуються до такої програми, які зумовили широкі дослідження деяких аспектів обробки інформації, зокрема технології виділення мультифрактальних структур та їх обробки, а також алгоритм розробки.

Ключові слова: мультифрактали, цифровий звукозапис, програмне забезпечення, програмний продукт, експертиза.

The principles fixed in basis of planning and development of the program for verification of integrity of information in digital phonograms and authentication of apparatus of digital record of sound are considered. The requirements produced to such program that led to the extensive studies of some aspects of information processing, including the technology of multifractal structures selection as well as their processing algorithm and software development are shown.

Keywords: digital audio recording, software, software product, examination.

Вступление. Широкое применение методов цифровой звукозаписи потребовало создания экспертного инструментария, позволяющего определять оригинальность (первичность) и подлинность (целостность информации) цифровых фонограмм (далее – ЦФ) и идентифицировать аппаратуру цифровой звукозаписи (далее – АЦЗЗ).

В процессе разработки такого инструментария была создана программа “Фрактал”, являющаяся основным элементом разработанного инструментария [1].

Цель статьи – показать, на основе каких принципов была спроектирована и разработана программа “Фрактал”.

Основная часть. Проектирование и разработка программного обеспечения "Фрактал", предназначенного для экспертной проверки ЦФ и идентификации АЦЗЗ, проводилось в несколько этапов.

На первом этапе была создана теоретическая база и проведены экспериментальные исследования, показавшие принципиальную возможность создания такого инструмента экспертизы [2].

При создании теоретической базы были разработаны модели, поясняющие механизм возникновения в ЦФ идентификационных признаков, образуемых за счет влияния паразитных процессов, происходящих в аппаратуре цифровой звукозаписи (см., например [2–5]).

Из рассмотренных моделей и полученных из них соотношений были сформулированы общие требования к построению инструментария, обеспечивающего проведение экспертизы ЦФ:

1. Программа должна обеспечивать сравнение оценочных значений распределений мультифрактальных структур, выделяемых из шумов пауз двух ЦФ;
2. Должно обеспечиваться сравнение двух ЦФ разной длительности;
3. Сравняться должны участки распределений, в которых сосредоточены различия фрактальной структуры, характеризующие индивидуальные особенности АЦЗЗ, фиксируемые на цифровых носителях в шумах фонограмм;

4. В программе должна осуществляться автоматическая сегментация сигналов, содержащихся в фонограмме, на сигналы паузы и сигналы речевой информации с применением алгоритма, реализующего эту опцию на основе фрактальной меры Хаусдорфа;

5. Программа должна обеспечивать выделение мультифрактальных структур из сигналов, содержащихся в паузах между сигналами речевой информации, по всей длительности фонограммы по максимумам вейвлет преобразования;

6. Программа должна обеспечивать разрешающую способность, позволяющую выделять самоподобные структуры при малых уровнях шумов ЦФ, что должно быть реализовано применением вейвлета Морле для выделения мультифрактальных структур;

7. Программа должна обеспечивать сравнение двух ЦФ и определять меру их близости по распределению локальных максимумов усредненных двумерных скейлограмм самоподобных структур, построенных для двух выборок пауз из двух ЦФ. Проверка статистических гипотез о принадлежности статистических характеристик самоподобных структур к одной совокупности должна производиться на основе критерия Колмогорова-Смирнова;

8. Результаты экспертных исследований должны представляться в виде графиков распределений статистических характеристик самоподобных структур, выделенных из шумов сравниваемых ЦФ, с указанием величины ошибки первого рода;

9. Интерфейс программы должен быть удобным для работы эксперта;

10. Должно обеспечиваться условие повторяемости полученных результатов экспертных исследований при проведении проверок одних и тех же ЦФ;

11. Величина ошибки I рода должна равняться нулю при сравнении ЦФ с самой собой;

12. Должно обеспечиваться приемлемое время анализа при проведении экспертизы.

Таким образом, был определен общий алгоритм разработки и функционирования программы.

В первую очередь, в программе должна обеспечиваться загрузка ЦФ как звуковых файлов одного формата, требования к которому необходимо определить в процессе разработки. Проведенный анализ показал, что наиболее приемлемым является формат wav. Поскольку невозможно сравнить несравнимые вещи, то файлы должны иметь одинаковую частоту дискретизации и разрядность. Загружать файлы следует через цифровые порты компьютера.

Загруженные файлы должны быть подвергнуты сравнительному анализу. Но для его проведения сначала их следует сегментировать по паузам. Следовательно, необходимо разработать подпрограмму автоматической сегментации. Как было показано в работе [6], в такой подпрограмме следует использовать алгоритм, основанный на фрактальной мере Хаусдорфа. Поэтому сначала по всей длине каждой из ЦФ следует рассчитать фрактальную меру, для чего разбить фонограмму на временные окна, и ячейки так, как это показано в данной работе, после чего по формуле

$$D = 2 - \lim_{p \rightarrow 0} \left[\frac{\ln N(p)}{\ln(p)} \right], \quad (1)$$

где

$N(p)$ – количество ячеек при покрытии ячейками с масштабом p , которые включают хотя бы одно значение величины исследуемого сигнала,

p – масштаб разбиения,

рассчитать фрактальную размерность по Хаусдорфу [6].

Затем необходимо выделить участки, где величина этой меры переходит границу 1,65 (как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения этого значения) и определить их как границы каждой из пауз [6]. Запомнить расположение таких границ на временной оси и произвести разбиение на сегменты речевых сигналов и пауз в автоматическом режиме.

После проведенной сегментации можно приступить к последующим шагам, необходимым для проведения анализа. Для его проведения необходимо выделить из пауз сигнала самоподобные структуры. Для этого сигналы во всех паузах каждой из фонограмм необходимо подвергнуть вейвлет анализу с использованием вейвлета Морле и выделить максимумы вейвлета преобразования в каждой паузе, запомнив их временное расположение и занимаемую площадь [7]. Следовательно, должна быть разработана подпрограмма вейвлет анализа и выделения самоподобных структур.

Выделенные из двух ЦФ самоподобные структуры необходимо сравнить между собой. Следовательно, необходимо создать подпрограмму, необходимую для расчета оценочных значений распределений таких структур, а затем использовать подпрограмму их сравнения, построенную на нахождении меры близости распределений на основе критерия Колмогорова-Смирнова. При этом необходимо рассчитать вероятность ошибки I рода. Однако оценочные значения распределений всегда будут иметь изрезанную форму, что недостаточно удобно для иллюстрации полученных результатов сравнения. Поэтому полученные кривые

оценочных значений распределений необходимо аппроксимировать до сглаженных кривых. Такие кривые смогут воспринимать люди, не имеющие специальной технической или экспертной подготовки. Поэтому потребуется подпрограмма аппроксимации результатов исследования.

Разумеется, потребуется отдельная подпрограмма построения интерфейса, который, несомненно, потребуется совершенствовать и уточнять в процессе разработки.

Исходя из этих требований к программе, можно определить базу для ее построения. В базе должны содержаться блоки, обеспечивающие расчет фрактальной меры по Хаусдорфу, вейвлет анализ, расчет статистических гипотез, вероятностные и аппроксимирующие расчеты. Но обеспечить приемлемое время расчетов, учитывая их сложность и объемы, можно только при использовании методов их ускорения и минимизации. Наибольший объем расчетов могут составить операции свертки при вейвлет анализе и выделении максимумов вейвлет преобразований, расчеты, связанные с автоматической сегментацией звуковых сигналов, и вероятностные расчеты, связанные со сравнением двух ЦФ. Одним из таких методов является применение математики остатков (вычетов) и такая возможность также должна обеспечиваться базовыми модулями. Наиболее полно указанным требованиям отвечает широко известный программный продукт MatLab. В нем содержатся все элементы, необходимые для построения программы. Кроме того, этот продукт имеет удобный гибкий интерфейс, который может быть использован при построении программы.

Таким образом, вся последующая разработка должна была быть построена на использовании программного продукта MatLab. Такая программа была создана и прошла апробацию в экспертных учреждениях Украины.

Выводы

1. Определены требования к программе проверки целостности информации, содержащейся в цифровых фонограммах, и идентификации АЦЗЗ.
2. Реализация такой программы может быть обеспечена применением при ее разработке программного продукта MatLab, содержащего все необходимые программные базовые модули.
3. На основе этого программного продукта разработан экспериментальный образец программы "Фрактал", удовлетворяющей указанным требованиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбальський О.В. Методика ідентифікаційних і діагностичних досліджень матеріалів та апаратури цифрового й аналогового звукозапису зі застосуванням програмного забезпечення "Фрактал" при проведенні експертиз матеріалів та засобів відео та звукозапису : наук.-метод. посіб. / В.І. Соловйов, В.В. Журавель, Т.О. Татарнікова. – К. : ДУІКТ, 2013. – 75 с.
2. Рыбальський О.В. Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе / О.В. Рыбальский, Ю.Ф. Жариков. – К. : Нац. акад. внутр. справ України, 2003. – 300 с.
3. Рыбальський О.В. Следы монтажа в цифровых фонограммах, выполненного способом вырезания и перестановки фрагментов / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев, В.В. Журавель // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2016. – Т. 18. – № 1. – С. 32–41.
4. Рыбальський О.В. Экспериментальная проверка проявления следов монтажа в цифровых фонограммах / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2015. – Т. 5. – № 1. – С. 38–43.
5. Соловьев В.И. Идентификация аппаратуры аудиозаписи по статистическим характеристикам аудиофайлов / В.И. Соловьев // Реєстрація та обробка інформації. – 2013. – Т. 14. – № 1. – С. 59–70.

6. Соловьев В.И. Сегментация звукового сигнала в задачах выявления монтажа в аудиофайлах / В.И. Соловьев // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – К. : ВІКНУ, вип. № 39, 2013. – С. 210–216.

7. Рыбальский О.В. Обобщенная модель выделения фрактальных структур из цифровых сигналов методом максимумов вейвлет преобразования / О.В. Рыбальский, В.В. Журавель, В.И. Соловьев, В.К. Железняк // Вестник Полоцкого государственного университета. – Серия С. – 2016. – № 4. – С. 13–16.

Отримано 14.04.2016

Рецензент Рибальський О.В., д.т.н.