

СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 621.3

О.В. Рыбальский,

доктор технических наук, профессор,

В.И. Соловьев,

кандидат технических наук, доцент

В.В. Журавель,

соискатель ГНИЭКЦ МВД Украины

ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ СЛЕДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ В АНАЛОГОВЫХ ФОНОГРАММАХ

В статье рассмотрена математическая модель образования следов цифровой обработки в аналоговых фонограммах. Показано, что по сравнению с фонограммой, не подвергавшейся такой обработке, в обработанной фонограмме возникают дополнительные частотные компоненты, которые могут быть выявлены при использовании инструментального средства экспертизы “Фрактал”.

Показана теоретическая пригодность применения фрактального подхода к построению инструментальных экспертных средств для проведения идентификационных и диагностических экспертных исследований материалов аналоговой звукозаписи с целью выявления следов цифровой обработки в аналоговых фонограммах.

Определены цели и задачи экспериментальных исследований пригодности инструментального экспертного средства “Фрактал” для применения при проведении экспертизы аналоговых фонограмм и аналоговой аппаратуры магнитной записи.

Ключевые слова: аналоговая фонограмма, цифровая фонограмма, цифровая обработка, экспертиза.

У статті розглянута математична модель утворення слідів цифрової обробки в аналогових фонограмах. Показано, що в порівнянні з фонограмою, що не піддавалася такій обробці, в обробленій фонограмі виникають додаткові частотні компоненти, які можуть бути виявлені при використанні інструментального засобу експертизи “Фрактал”.

Показана теоретична придатність застосування фрактального підходу до побудови інструментальних експертних засобів для проведення ідентифікаційних і діагностичних експертних досліджень матеріалів аналогового звукозапису з метою виявлення слідів цифрової обробки в аналогових фонограмах.

Визначені цілі та завдання експериментальних досліджень придатності інструментального експертного засобу “Фрактал” для застосування при проведенні експертизи аналогових фонограм і аналогової апаратури магнітного запису.

Ключові слова: аналогова фонограма, цифрова фонограма, цифрова обробка, експертиза.

The mathematical model of formation of tracks of digital treatment is considered in analog phonograms. It is shown that as compared to a phonogram, to not undergoing such treatment, in the treated phonogram there are additional frequency components which can be educed at the use of tool of examination "Fractal".

The theoretical fitness of application of the fractal going is shown near the construction of expert tools for realization identification and diagnostic expert researches of materials of the analog audio recording with the purpose of exposure of tracks of digital treatment in analog phonograms.

Aims and tasks of experimental researches of fitness of expert tool are certain "Fractal" for the application during examining of analog phonograms and analog apparatus of magnetic record.

Keywords: analog phonogram, digital phonogram, digital treatment, examination.

Вступление

Иногда на экспертизу поступают аналоговые фонограммы (далее – АФ), которые могут быть записаны как правоохранительными органами, так и потерпевшими. Но, как гласит старая пословица, "голь на выдумку хитра". Поэтому вполне вероятна угроза записи цифровой фонограммы (далее – ЦФ) на аппаратуре цифровой звукозаписи (далее – АЦЗЗ), ее обработки требуемым образом, перезаписи сфальсифицированной фонограммы на аналоговую аппаратуру магнитной записи (далее – ААМЗ) и предоставления ее вместе с аналоговым магнитофоном на экспертизу. При этом, в силу значительного превышения уровня собственных шумов ААМЗ над уровнем шумов АЦЗЗ, лица, предоставляющие такие фонограммы, обоснованно надеются на сокрытие в них следов цифровой обработки. Это потребовало создания современного инструментального средства экспертизы (далее – ИСЭ) для выявления следов цифровой обработки в АФ и идентификации ААМЗ. При этом, вполне естественно, возник вопрос о возможности использования разработанного ИСЭ "Фрактал", сделанного для идентификации АЦЗЗ и диагностики ЦФ.

Основная часть

Разумеется, необходимо разработать модель процессов, происходящих при перезаписи звукового сигнала в цифровой форме на ААМЗ. Часть этой модели была разработана нами ранее и использована в полной модели процессов, показанной ниже [1].

В [2] показано, что коэффициент передачи тракта воспроизведения (а именно он и определяет точность передачи информации в такой аппаратуре) ААМЗ, с учетом влияния на выходной сигнал щелевых потерь, величины неконтакта головки с носителем и толщины рабочего слоя магнитного носителя, определяется соотношением

$$\xi(x) = \frac{1}{2\pi d\Delta} \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right], \quad (1)$$

где

a_B – величина неконтакта между магнитной головкой и носителем при воспроизведении,

d – толщина рабочего слоя магнитного носителя,

Δ – половина ширины рабочего зазора головки воспроизведения,

$x = Vt$,

где

V – скорость транспортирования носителя,

t – текущее время.

Если на вход ААМЗ прямой записи подать сигнал $s_1(t) = A_{m1} \sin \omega t$, то, с учетом (1) и дифференцирующего действия воспроизводящей головки, выходной сигнал ААМЗ можно записать, как

$$s_2(t) = \frac{A_{m2} \cos \omega t}{2\pi d \Delta} \left[\arctg \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \arctg \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right]. \quad (2)$$

Целью разрабатываемой модели является установление проявления различия сигналов оригинальной и перезаписанной фонограмм при проведении их экспертизы.

Поставленная цель может быть достигнута рассмотрением механизма и особенностей образования и проявления следов цифровой обработки в АФ при проведении сравнительного анализа образцовой (экспериментальной) фонограммы, записанной и воспроизведенной на представленной ААМЗ, с исследуемой фонограммой, подвергшейся обработке и воспроизведенной на этой же ААМЗ. Схема проведения такой обработки и последующей экспертизы показана на рис. 1.

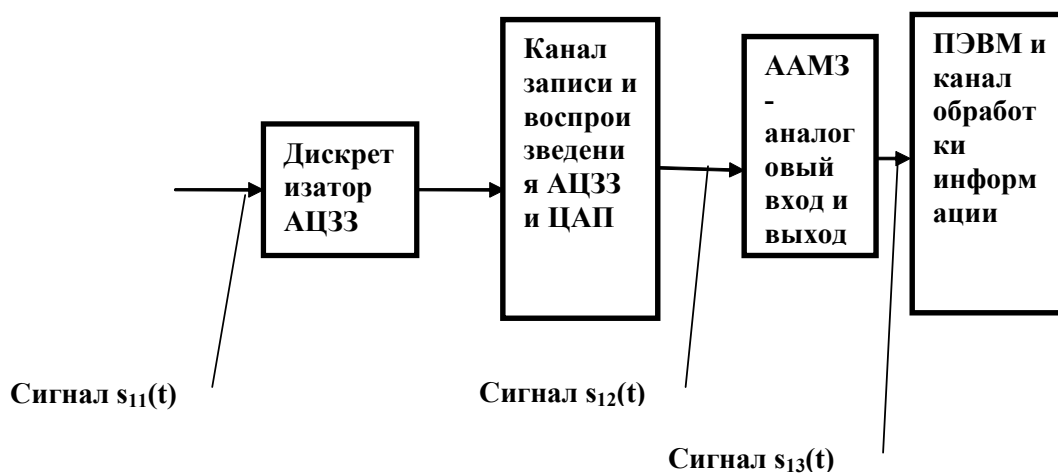


Рис. 1. Схема обработки и проведения экспертной проверки обработанной аналоговой фонограммы

Предположим, первоначальный сигнал, записываемый в АЦЗЗ, на которой была сделана перезаписываемая фонограмма, определяется как $s_{11}(t) = A_{m11} \cos \omega_{11} t$.

Тогда сигнал на выходе АЦЗЗ для его перезаписи на ААМЗ, следует записать как

$$s_{12}(t) = \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-T_2 n_2}{T_2}\right) A_{m12} \cos \omega_{11}(n_2 T_2), \quad (3)$$

где

A_{m12} – максимальное значение шкалы преобразования ЦАП АЦЗЗ;
 T_2 – период дискретизации в ЦАП на аналоговом выходе АЦЗЗ [3].

Но при перезаписи и воспроизведении на ААМЗ исследуемой фонограммы сигнал (3) подвергнется влиянию ее тракта, а на выходе этой аппаратуры он определится соотношением

$$s_{13}(t) = \frac{\sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-T_2 n_2}{T_2}\right) A_{m12} \cos \omega_{11}(n_2 T_2)}{2\pi d \Delta} \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d) \Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right]. \quad (4)$$

Для проведения экспертизы обе фонограммы должны быть воспроизведены на одной ААМЗ в аналоговой форме и введены в экспертный компьютер. Очевидно, что для этого необходимо использовать АЦП экспертного компьютера.

Тогда сигнал (4) исследуемой фонограммы после ее ввода в компьютер следует записать как

$$s_{14}(t) = \frac{\sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \sum_{n_3=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-n_2 T_2}{T_2}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{n_2 T_2 - n_3 T_3}{T_3}\right) A_{m13} \cos \omega_{11}(n_3 T_3)}{2\pi d \Delta} \times$$

$$\times \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d) \Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right], \quad (5)$$

где

T_3 – шаг дискретизации в экспертном компьютере;
 n_3 – номер отсчета (выборки) в АЦП экспертного компьютера.

При этом сигнал (2) экспериментальной фонограммы после ввода в компьютер определится соотношением

$$s_3(t) = \frac{\sum_{n_3=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-T_3 n_3}{T_3}\right) A_{m3} \cos \omega(n_3 T_3)}{2\pi d \Delta} \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d) \Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right]. \quad (6)$$

Разумеется, что спектры сигналов (5) и (6) будут различаться. Действительно, спектр сигнала (5) следует записать как

$$\begin{aligned}
 S_{14}(j\omega) = F & \left\{ \frac{\sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \sum_{n_3=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-n_2T_2}{T_2}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{n_2T_2-n_3T_3}{T_3}\right) A_{m13} \cos \omega_{11}(n_3T_3)}{2\pi d\Delta} \times \right. \\
 & \times \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right] \Bigg\} = \\
 & = \frac{2\pi A_m \omega_{D2}}{2\pi d \Delta \omega T_2} \times \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right] \times \\
 & \times \sin \frac{\omega T_2}{2} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} \sum_{k_3=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega - k_2 \omega_{D2}} \sin \left(\frac{\omega - k_2 \omega_{D2}}{2} \right) T_3 \times \\
 & \times \left[\delta(\omega - \omega_{011} - k_2 \omega_{D2} - k_3 \omega_{D3}) + \delta(\omega + \omega_{011} - k_2 \omega_{D2} - k_3 \omega_{D3}) \right], \quad (7)
 \end{aligned}$$

где

F – оператор преобразования Фурье;

ω_{D2} – частота дискретизации в АЦЗЗ;

ω_{D3} – частота дискретизации в экспертном компьютере.

А спектр сигнала (6) экспериментальной фонограммы определится соотношением

$$\begin{aligned}
 S_3(j\omega) = F & \left\{ \frac{\sum_{n_3=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-T_3 n_3}{T_3}\right) A_{m3} \cos \omega(n_3 T_3)}{2\pi d \Delta} \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right] \right\} = \\
 & = \frac{A_{m3} \omega_{D3}}{2\pi d \Delta \omega} \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right] \times \\
 & \times \sin \omega \frac{T_3}{2} \sum_{k_3=-\infty}^{\infty} \frac{1}{(\omega - k_3 \omega_{D3})} \left[\delta(\omega - \omega_{01} - k_3 \omega_{D3}) + \delta(\omega + \omega_{01} - k_3 \omega_{D3}) \right]. \quad (8)
 \end{aligned}$$

При сравнении соотношений (7) и (8) видно, что в спектре сигнала (8) образуются дополнительные частотные компоненты, обусловленные процессом двойной дискретизации. При этом на спектрограммах, представленных в [3], показано, что большая часть этих составляющих возникает в высокочастотной

области. Формулы (7) и (8) показаны здесь для наглядного представления различий между этими сигналами. Но при экспертизе применяется выделение фрактальных структур из пауз фонограмм, поэтому целесообразно рассмотреть анализ сигналов (5) и (6) с применением вейвлета Морле по максимумам вейвлет преобразования. Поскольку операции выделения фрактальных структур в этом случае для обоих сигналов сводятся к их свертке во временной области и, естественно, перемножению спектра сигналов (7) и (8) со спектром вейвлета Морле в частотной области, то расписывать ее здесь не имеет смысла.

Отметим, что мы провели предварительную проверку пригодности разработанного для экспертиз АЦЗЗ и ЦФ ИСЭ “Фрактал” и пришли к выводу, что оно пригодно для решения поставленных задач идентификации ААМЗ и проверки отсутствия или выявления следов цифровой обработки в АФ.

Однако эта проверка была предварительной, поскольку еще необходимо провести ряд экспериментов для уточнения величины фрактальной меры для АФ при проведении автоматической сегментации, величины доверительного интервала для принятия решения о выборе области близости или несоответствия фрактальных характеристик сравниваемых АФ. Также экспериментально необходимо определить и уточнить максимальное пороговое значение величины ошибки I рода, необходимого при выборе этих областей. Следовательно, требуется провести большой объем экспериментальных исследований, позволяющих разработать методику применения программы “Фрактал” при проведении экспертизы ААМЗ и АФ.

Выводы

1. Показана теоретическая пригодность применения фрактального подхода к построению ИСЭ для проведения идентификационных и диагностических экспертных исследований материалов аналоговой звукозаписи с целью выявления следов цифровой обработки в аналоговых фонограммах.

2. Определены цели и задачи экспериментальных исследований пригодности ИСЭ “Фрактал” для применения при проведении экспертизы АФ и ААМЗ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбальский О.В. Модель выявления следов цифровой обработки аналоговых сигналов с применением мультимасштабного анализа / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Информационная безопасность. – 2011. – № 1 (5). – С. 27–32.

2. Вичес А.И. Моделирование канала магнитной записи на ЭВМ / А.И. Вичес, А.И. Горон, В.А. Смирнов; под ред. А.И. Вичеса. – М. : Радио и связь, 1984. – 184 с.

3. Рыбальский О.В. Проявление следов цифровой обработки в аналоговых сигналах / О.В. Рыбальский // Информационная безопасность. – 2010. – № 1 (3). – С. 79–83.

Отримано 07.02.2017

Рецензент Хорошко В.О., д.т.н.