

УДК 621.317

О.В. Рыбальский,
доктор технических наук, профессор
В.И. Соловьев,
кандидат технических наук, доцент,
В.В. Журавель,
соискатель ГНИЭКЦ МВД Украины

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТА ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО СОСТАВА СИГНАЛОВ ПРИ МОНТАЖЕ ФОНОГРАММЫ СПОСОБОМ ВЫРЕЗАНИЯ И ПЕРЕСТАНОВКИ ФРАГМЕНТОВ

Проведена экспериментальная проверка эффекта изменения фрактального состава шумов в паузах цифровых фонограмм. Этот эффект экспериментально подтвержден на 72 специально изготовленных фальсификатах. Эксперименты проводились на 20 аппаратах цифровой звукозаписи различных марок и типов. Длительность монтируемых фрагментов варьировалась от 5 мсек до 30 сек. Доказано, что разрешающая способность программы "Фрактал", с использованием которой проводились эксперименты, обеспечивает выявление нарушений целостности информации в цифровых фонограммах во всем диапазоне длительностей монтируемых фрагментов. Установлено, что различие между исходной и смонтированной цифровыми фонограммами составляет доли процентов.

Ключевые слова: монтаж, цифровая фонограмма, подделка цифровых фонограмм, перестановка фрагментов, целостность информации.

Проведена експериментальна перевірка ефекту зміни фрактального складу шумів у паузах цифрових фонограм. Цей ефект експериментально підтверджений на 72 спеціально виготовлених фальсифікатах. Експерименти проводилися на 20 апаратах цифрового звукозапису різних марок і типів. Тривалість змонтованих фрагментів варіювалася від 5 мсек до 30 сек. Доведено, що роздільна здатність програми "Фрактал", з використанням якої проводилися експерименти, забезпечує виявлення порушень цілісності інформації в цифрових фонограмах в усьому діапазоні тривалості змонтованих фрагментів. Встановлено, що відмінність між початковою та змонтованою цифровими фонограмами складає доли відсотків.

Ключові слова: монтаж, цифрова фонограма, підробка цифрових фонограм, перестановка фрагментів, цілісність інформації.

Experimental verification of effect of change of fractal composition of noises is conducted in the pauses of digital phonograms is carried out. This effect is experimentally proved due to 72 purpose-made imitations. Experiments were conducted on 20 vehicles of the digital audio recording of different brands and types. Duration of the assembled fragments was varied from 5 msec. a to 30 sec. It is proved, that the discriminability of the program "Fractal", which experiments were conducted with the use of, provides the exposure of violations of integrity of information in digital phonograms in all range of

durations of the assembled fragments. It is set that the distinction between initial and mounted digital phonograms makes the stakes of percents.

Keywords: *editing, digital phonogram, imitation of digital phonograms, transposition of fragments, integrity of information.*

Среди известных способов монтажа цифровых фонограмм (далее – ЦФ) наибольшую сложность для выявления при экспертизе представляют способы, использующие записи, сделанные на одной аппаратуре цифровой звукозаписи (далее – АЦЗЗ). А среди них наиболее просто реализуется способ вырезания и перестановки фрагментов в одной фонограмме [1–3]. Естественно, что при разработке аппаратуры контроля целостности информации в ЦФ, предназначенной для проведения экспертизы материалов и средств цифровой звукозаписи, особое внимание уделяется вопросам выявления такого монтажа [4]. Однако решение этой задачи намного сложнее, чем могло бы показаться с первого взгляда.

В ряде наших более ранних работ сообщалось об обнаружении эффекта изменения спектрального состава сигналов в паузах речевой информации, содержащейся в ЦФ, используемых в качестве начальной и конечной точек вставляемых фрагментов при монтаже [4; 5].

Однако до настоящего времени этот эффект не был подтвержден масштабным экспериментом. Нам удалось провести такой эксперимент с использованием программы и методики проведения экспертизы материалов и средств цифровой звукозаписи “Фрактал” [6].

Для проведения эксперимента на АЦЗЗ разных марок и типов с частотами дискретизации (далее – ЧД), охватывающими весь диапазон применяемых в АЦЗЗ, был записан ряд ЦФ. Эти фонограммы в цифровой форме были введены в компьютер, а введенные файлы были сохранены под определенными именами. Затем каждый из этих файлов выводился на экран в редакторе звуковых файлов и в них проводились монтажные операции. При этом отмечалось точное место расположения (по длительности фонограмм) места вырезания и длительность фрагмента, место начала и окончания вставки. При монтаже в звуковом редакторе убирались фазовые нестыковки в местах вырезания и вставки фрагментов, но объемы информации в обработанном и необработанном файлах оставались равными друг другу. Таким образом, имитировался цифровой монтаж, выполненный в ЦФ способом вырезания и перестановки фрагментов. Полученный фальсификат сохранялся под новым именем. Были записаны на различной АЦЗЗ и затем обработаны файлы при ЧД 8 кГц, 11,025 кГц, 16 кГц, 22,05 кГц и 44,1 кГц.

Затем каждый файл, подвергнутый цифровой обработке, сравнивался с оригинальным файлом. Кроме того, каждый оригинальный файл сравнивался с самими собой. Поскольку при сравнении абсолютно одинаковых файлов вероятность ошибки I рода равна нулю, то появление такой ошибки при сравнении исходного и обработанного файлов свидетельствует о различии фрактальных структур сигналов, содержащихся в сравниваемых ЦФ.

Такой подход, кроме проверки достоверности полученных теоретических результатов, позволил установить принципиальную способность программы “Фрактал” к выявлению вмешательств в тонкую структуру сигналов и определить последующее направление развития программы при ее модификации.

Для определения степени несоответствия между обработанным и необработанным файлами строились оценочные кривые плотностей вероятности меры близости сравниваемых ЦФ. Но при этом следует учесть, что даже в случае обработки методом вырезания и перестановки фрагментов, обе ЦФ остаются записанными на одной АЦЗЗ, и, следовательно, их фрактальные характеристики остаются близкими.

Для выяснения разрешающей способности программы “Фрактал” по длительности переставляемых фрагментов, вырезались и переставлялись фрагменты разной длительности в диапазоне от десятков секунд до миллисекунд. Для этого в имени обработанного файла отмечалось время начала и окончания монтажных операций.

Методика изготовления экспериментальных фальсификатов проиллюстрирована на рис. 1 – рис. 7.

В исходной ЦФ, открытой в программе звукового редактора, визуально отбирается и выделяется фрагмент, предназначенный для вырезки и перестановки. Фрагмент должен начинаться и заканчиваться в паузе между речевыми сигналами. Сигнал растягивается по временной оси и уточняется место начала и окончания вырезки. Во избежание фазовых нестыковок фрагмент вырезается на выборках с одинаковыми уровнями сигнала.

Аналогичным образом производится вставка фрагмента. Полученный фальсификат запоминается под новым именем файла.



Рис. 1. Необработанный файл, загруженный в звуковой редактор



Рис. 2. Выделение фрагмента для вырезания из файла и последующей перестановки



Рис. 3. Начало этого фрагмента при большом растяжении сигнала по временной оси. Время начала фрагмента 20,468 сек

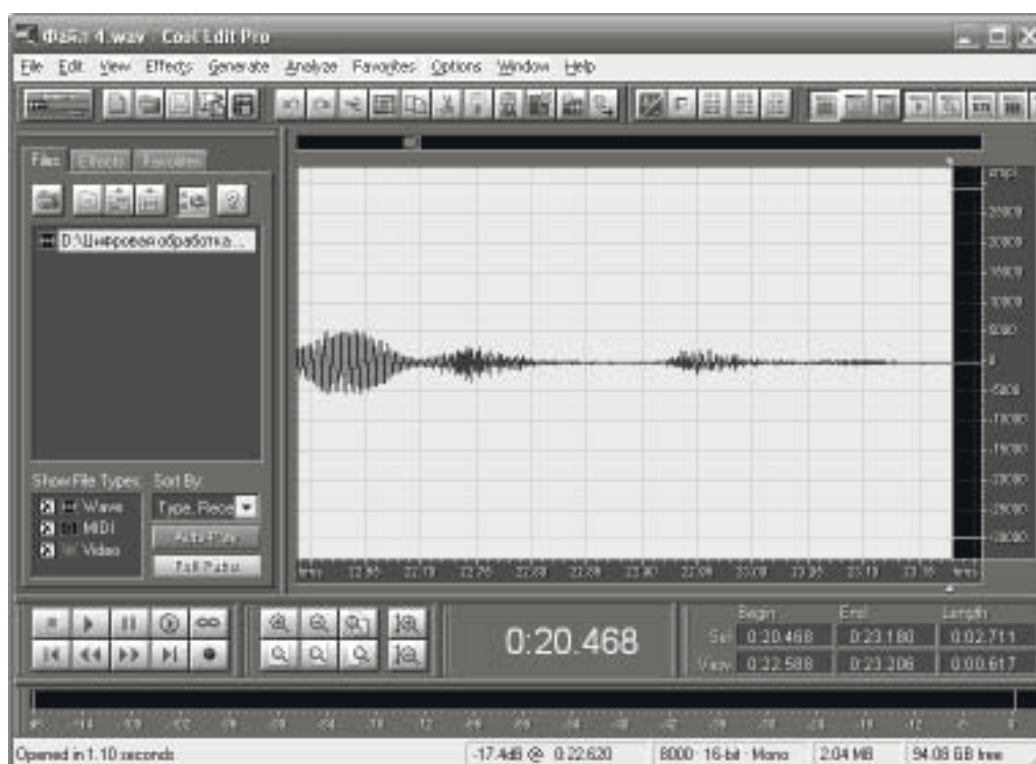


Рис. 4. Окончание фрагмента при большом растяжении сигнала по временной оси. Время окончания 23,18 сек.



Рис. 5. Состыковка сигнала на месте вырезанного фрагмента. Время стыка на фонограмме 20,468 сек



Рис. 6. Место начала будущей вставки вырезанного фрагмента. Время начала вставки 25,099 сек



Рис. 7. Вставленный фрагмент. Время окончания вставки 27, 811 сек

На рис. 8–11 проілюстрований експеримент, проведений для оброблених і необроблених ЦФ, записаних при ЧД 8 кГц на вбудованому диктофоні мобільного телефону.

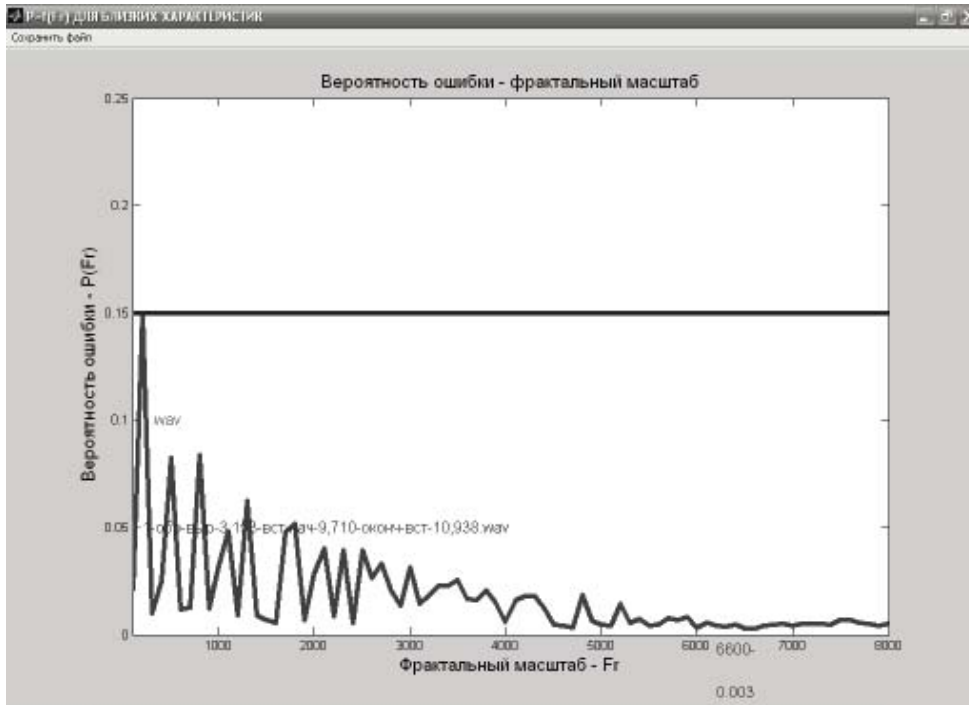


Рис. 8. Результат сравнения фрактальных характеристик обработанного и необработанного файла 3, записанного на встроеном диктофоне мобильного телефона Nokia 6151 в области совпадения характеристик

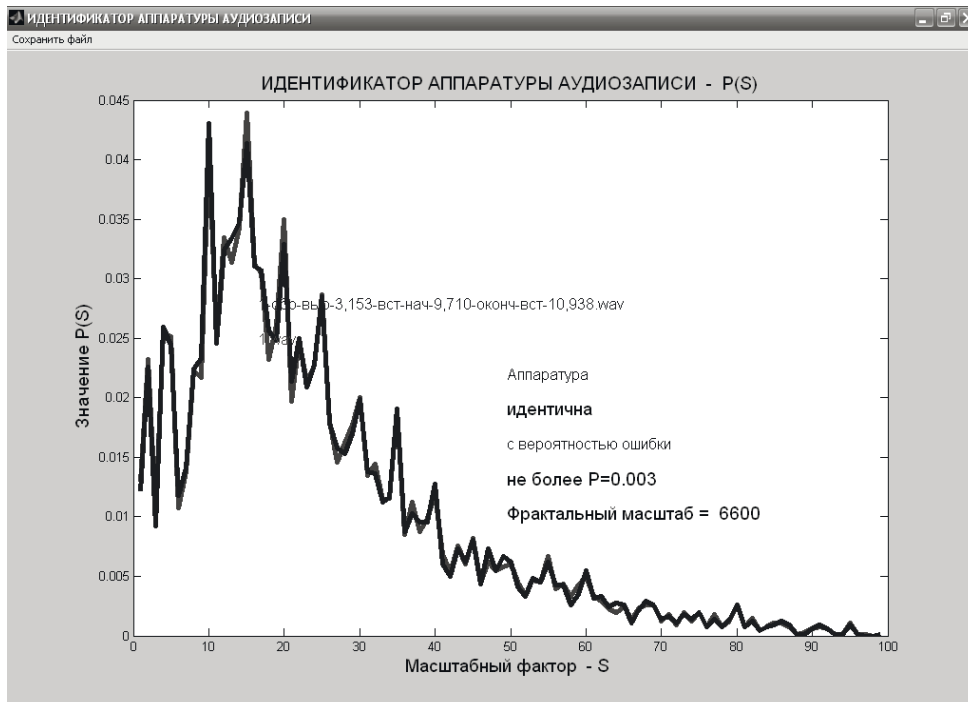


Рис. 9. Плотности вероятности меры близости фрактальных характеристик для обработанного и необработанного файла 3, записанного на встроеном диктофоне мобильного телефона Nokia 6151

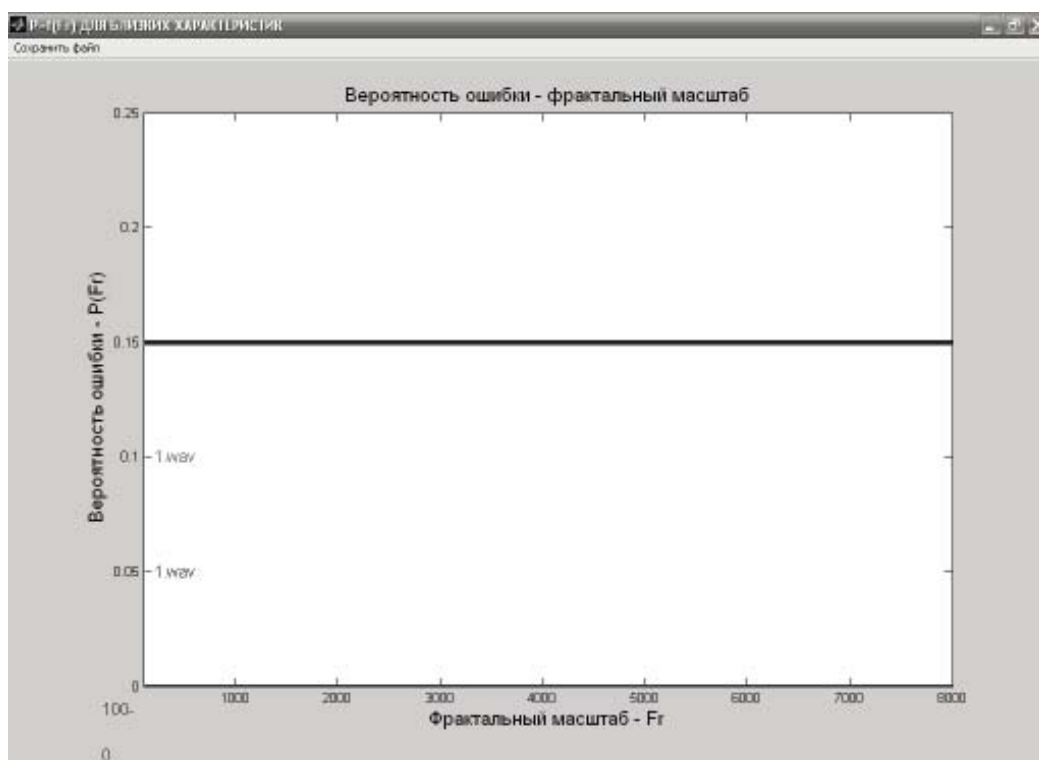


Рис. 10. Результат сравнения фрактальных характеристик необработанного файла 3 с самим собой, записанного на встроенном диктофоне мобильного телефона Nokia 6151. Красная горизонтальная линия на уровне $P = 0$ говорит о совпадении файлов и отсутствии ошибки I рода

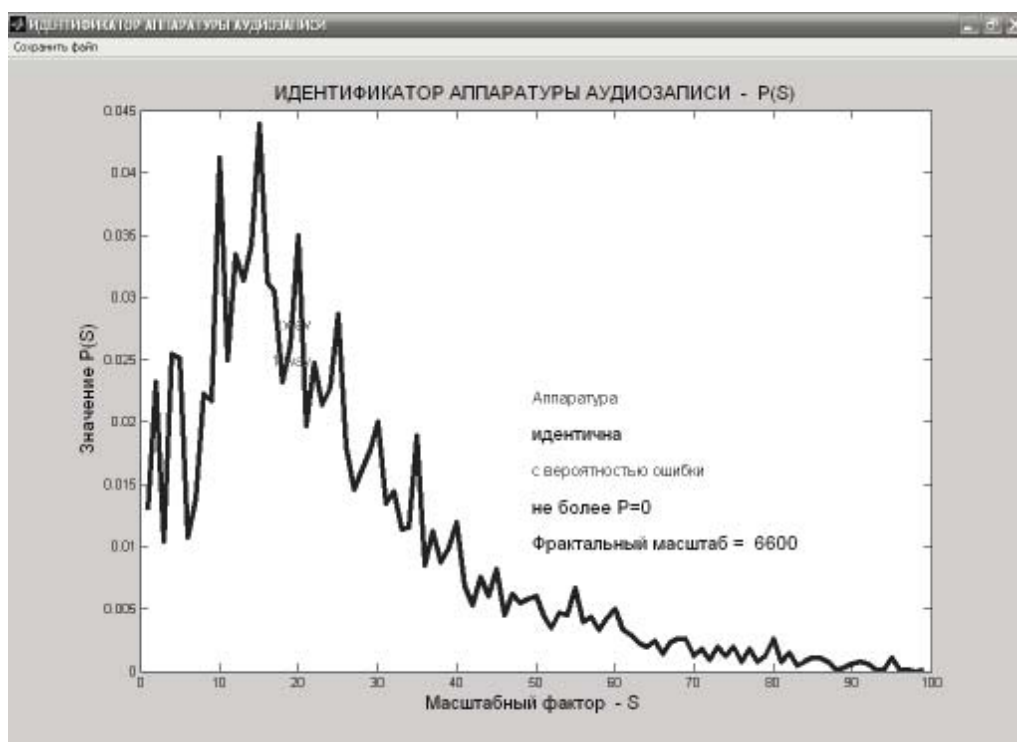


Рис. 11. Плотности вероятности меры близости фрактальных характеристик для файла 3, записанного на встроенном диктофоне мобильного телефона Nokia 6151, при его сравнении с самим собой

Експеримент проводився на АЦЗЗ нескольких марок и типов. Использовались цифровые диктофоны Olympus VN – 300PC, Olympus VN – 480PC, Olympus VN – 1100PC, Olympus VN – 2100PC, Olympus VN – 4100PC, Olympus WS – 320M, Olympus WS – 550M, Olympus 20 DM, Panassonic RR – US360, EdicMini, Samsung SVR – S820, Samsung SVR – S1330, встроенные диктофоны мобильных телефонов Nokia – 3250, Nokia – 5630, Nokia – 6151, Nokia – 6275, Nokia – 6300, Nokia – 6303C, LG KM – 330, Samsung GT – S5350. Таким образом, было использовано в эксперименте 20 АЦЗЗ различных типов и марок, что обеспечило использование всего диапазона ЧД, применяемых при записи звука, и различных типов кодеков. Этим обеспечивается проверка теоретических положений диссертации в широком диапазоне реализации процесса цифровой записи и воспроизведения звуковой информации.

На каждом конкретном аппарате было записано не менее трех исходных ЦФ, из них были изготовлены фальсификаты, в каждом из которых переставлялся один фрагмент. Длительность фрагментов в каждой из обработанных фонограмм была различна. Она составляла от 5 мсек до 20 сек.

Результаты эксперимента сведены в табл. 1. Из результатов эксперимента, приведенных в табл. 1, видно, что на 20 различных экземплярах различной АЦЗЗ было записано 72 ЦФ при различных ЧД. При этом записывалось по три ЦФ на каждой из ЧД, на которых работает каждый конкретный аппарат записи. При проведении эксперимента было изготовлено в звуковом редакторе 72 фальсификата ЦФ, каждый из которых сравнивался с исходной ЦФ.

При этом длительности вырезаемых и вставляемых фрагментов для всех ЧД были распределены следующим образом:

- для диапазона от 5 до 10 мсек – в 17 фальсификатах;
- для диапазона от 11 до 20 мсек – 13 фальсификатов;
- для диапазона от 21 до 60 мсек – 10 фальсификатов;
- для диапазона от 61 до 300 мсек – 10 фальсификатов;
- для диапазона от 0,301 до 3 сек – 11 фальсификатов;
- для диапазона от 3,1 до 30 сек – 11 фальсификатов.

Такое распределение по длительности монтируемых фрагментов определялось необходимостью тщательной проверки разрешающей способности программы “Фрактал” к выделению изменений малой длительности фрактальной структуры сигналов шумов.

Таблица 1

Результаты экспериментальной проверки факта изменения фрактального состава шумов ЦФ при монтаже с использованием стробирующего импульса

| № ЦФ п/п | Тип и марка АЦЗЗ | Имя исходного файла | ЧД, кГц | Длительность переставляемого фрагмента, сек | | | | | | Мин. ошибка I рода | Результат выявления |
|----------|------------------|---------------------|---------|---|--------------|--------------|-------------|---------|----------|--------------------|---------------------|
| | | | | 0,005 – 0,01 | 0,011 – 0,02 | 0,021 – 0,06 | 0,061 – 0,3 | 0,3 – 3 | 3,1 – 30 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Olympus – 20DM | 200022 | 44,1 | | | | | | | 0,003 | + |
| 2 | | 200025 | 44,1 | + | | | | | | 0,0027 | + |
| 3 | | 200026 | 44,1 | | | | + | | | 0,0034 | + |
| 4 | | 200023 | 11,025 | | + | | | | | 0,0041 | + |
| 5 | | 200027 | 11,025 | | | | | | + | 0,004 | + |
| 6 | | 200028 | 11,025 | | | + | | | | 0,0043 | + |
| 7 | | 200024 | 8 | + | | | | | | 0,005 | + |
| 8 | | 200029 | 8 | | + | | | | | 0,0047 | + |
| 9 | | 200030 | 8 | | | | | | + | 0,0033 | + |

Продолжение табл. 1.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|--------------------------|---------------|--------|---|---|---|---|---|----|--------|--------|
| 10 | Olympus VN-480 PC | A0085 | 22,05 | + | | | | | | 0,0051 | + |
| 11 | | A0086 | 22,05 | | | | | | + | 0,004 | + |
| 12 | | A0087 | 22,05 | | | | | | + | 0,005 | + |
| 13 | Olympus VN-1100 PC | A0032 | 22,05 | | | + | | | | 0,0039 | + |
| 14 | | A0033 | 22,05 | | | | + | | | 0,0046 | + |
| 15 | | A0034 | 22,05 | | | + | | | | 0,0052 | + |
| 16 | Olympus VN-2100PC | A2806 | 22,05 | + | | | | | | 0,0044 | + |
| 17 | | A281 | 22,05 | | | + | | | | 0,0049 | + |
| 18 | | A282 | 22,05 | | | | | + | | 0,0028 | + |
| 19 | Olympus VN-300PC | Sound1 | 44,1 | | | | | | + | 0,0036 | + |
| 20 | | Sound2 | 44,1 | | | + | | | | 0,004 | + |
| 21 | | Sound3 | 44,1 | + | | | | | | 0,0039 | + |
| 22 | Olympus VN-4100PC | A0311 | 44,1 | | | | | + | | 0,0027 | + |
| 23 | | A0312 | 44,1 | | | | | | + | 0,0032 | + |
| 24 | | A0313 | 44,1 | | | + | | | | 0,0042 | + |
| 25 | EdicMini | 01 | 11,025 | | | | | | + | 0,005 | + |
| 26 | | 02 | 11,025 | + | | | | | | 0,0054 | + |
| 27 | | 03 | 11,025 | | | | | + | | 0,0047 | + |
| 28 | Samsung SVR-S820 | S0003 | 16 | + | | | | | | 0,0038 | + |
| 29 | | S0005 | 16 | | | + | | | | 0,004 | + |
| 30 | | S0007 | 16 | | | | + | | | 0,0035 | + |
| 31 | Samsung SVR-S1330 | S0093 | 11,025 | | | | + | | | 0,0051 | + |
| 32 | | S0094 | 11,025 | | | + | | | | 0,0046 | + |
| 33 | | S0095 | 11,025 | | | | | + | | 0,0053 | + |
| 34 | Olympus WS-550M | 50001 | 44,1 | + | | | | | | 0,0037 | + |
| 35 | | 50002 | 44,1 | | | | | | + | 0,0039 | + |
| 36 | | 50003 | 44,1 | | | | | | + | 0,0042 | + |
| 37 | Olympus WS-320M | 70007 | 16 | | | | + | | | 0,0034 | + |
| 38 | | 70008 | 16 | | | + | | | | 0,0037 | + |
| 39 | | 70012 | 16 | | | | + | | | 0,0031 | + |
| 40 | Panasonic RR-US360 | K01-8 | 8 | | | | | | + | 0,0048 | + |
| 41 | | K02-8 | 8 | | | + | | | | 0,0045 | + |
| 41 | | K03-8 | 8 | + | | | | | | 0,0044 | + |
| 43 | | K01-11 | 11,025 | | | | + | | | 0,0058 | + |
| 44 | | K02-11 | 11,025 | | | | | | + | 0,0047 | + |
| 45 | | K03-11 | 11,025 | | | | | + | | 0,0049 | + |
| 46 | | K01-16 | 16 | | | | | | + | 0,004 | + |
| 47 | | K02-16 | 16 | + | | | | | | 0,0045 | + |
| 48 | | K03-16 | 16 | | | + | | | | 0,005 | + |
| 49 | Nokia-3250 | 00001 | 8 | + | | | | | | 0,0051 | + |
| 50 | | 00002 | 8 | + | | | | | | 0,005 | + |
| 51 | | 00003 | 8 | | | + | | | | 0,0053 | + |
| 52 | | 00011 | 8 | | | | | + | | 0,005 | + |
| 53 | Nokia-5630 | 00012 | 8 | | | | | | + | 0,0048 | + |
| 54 | | 00013 | 8 | + | | | | | | 0,0054 | + |
| 55 | | Nokia-6275 | 00007 | 8 | | | + | | | 0,0051 | + |
| 56 | 00009 | | 8 | | | + | | | | 0,005 | + |
| 57 | 00010 | | 8 | | | | | | + | 0,0043 | + |
| 58 | Nokia-6300 | 000 | 8 | | | | | + | | 0,0052 | + |
| 59 | | 001 | 8 | | | | + | | | 0,005 | + |
| 60 | | 002 | 8 | + | | | | | | 0,0048 | + |
| 61 | Nokia- 6303C | 0005 | 8 | | | + | | | | 0,0053 | + |
| 62 | | 0006 | 8 | | | | | + | | 0,005 | + |
| 63 | | 0007 | 8 | | | + | | | | 0,005 | + |
| 64 | | LG KM- 330 | F001 | 8 | + | | | | | | 0,0046 |
| 65 | F002 | | 8 | | | | | | + | 0,005 | + |
| 66 | F003 | | 8 | | | | | | + | 0,0049 | + |
| 67 | Samsung GT-S5350 | ST018 | 8 | | | | + | | | 0,0052 | + |
| 68 | | ST019 | 8 | + | | | | | | 0,005 | + |
| 69 | | ST021 | 8 | | | + | | | | 0,005 | + |
| 70 | Nokia-6151 | 003 | 8 | | | | | + | | 0,003 | + |
| 71 | | 004 | 8 | | | + | | | | 0,0036 | + |
| 72 | | 007 | 8 | + | | | | | | 0,0041 | + |

Все 72 фальсификата отличались от исходных ЦФ, что было выявлено при их сравнении с использованием программы “Фрактал”, независимо от ЧД и длительности вырезаемых и переставляемых фрагментов. В тоже время величина расхождения между обработанной таким способом и необработанной ЦФ составляет доли процента.

Выводы

1. Экспериментально на 72 специально изготовленных фальсификатах подтвержден эффект изменения фрактального состава шумов в паузах между речевыми сигналами при монтаже цифровых фонограмм способом вырезания и перестановки фрагментов. Эксперименты проводились на 20 аппаратах цифровой звукозаписи различных марок и типов. Длительность монтируемых фрагментов варьировалась от 5 мсек до 30 сек.

2. Разрешающая способность программы “Фрактал”, с использованием которой проводились эксперименты, обеспечивает выявление нарушений целостности информации в цифровых фонограммах во всем диапазоне длительностей монтируемых фрагментов.

3. Различие между исходной и смонтированной цифровыми фонограммами составляет доли процентов, что свидетельствует о высокой разрешающей способности инструментария, построенного на основе фрактального подхода к представлению сигналов собственных шумов ЦФ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Журавель В.В. К экспериментальным исследованиям взаимосвязи между операциями, используемыми при цифровой обработке сигналов, и проявлениями их информативных признаков / В.В. Журавель, О.В. Рыбальский, И.А. Струк и др. // Вестн. Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. – 2006. – № 9. – С. 103–108.

2. Рыбальский О.В. Модели нестандартной подделки цифровых фонограмм / О.В. Рыбальский // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2003. – т. 5, № 4. – С. 25–32.

3. Журавель В.В. Особенности формирования фонограмм, записанных с телефонных каналов / В.В. Журавель // Сучасна спеціальна техніка. – 2015. – № 4, (43). – С. 26–31.

4. Рыбальский О.В. Экспериментальная проверка проявления следов монтажа в цифровых фонограммах / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2015. – т. 5, № 1. – С. 38–43.

5. Рыбальский 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. 21, № 1. – С. 32–41.

Отримано 07.09.2016

Рецензент Хорошко В.О., д.т.н.