

УДК 621.317+681.849

Рыбальский Олег Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
лауреат государственной премии,
главный научный сотрудник научно-исследовательской
лаборатории по проблемам криминалистического
обеспечения и судебной экспертологии,
профессор кафедры информационных технологий
и кибернетической безопасности Национальной академии
внутренних дел, Киев, Украина,
ORCID ID 0000-0002-1440-8344

Соловьев Виктор Иванович,
кандидат технических наук, доцент,
заместитель заведующего кафедры компьютерных систем и
сетей Восточноукраинского национального университета
им. В. Даля, Северодонецк, Украина,
ORCID ID 0000-0003-3541-4740

Журавель Вадим Васильевич,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией исследований в сфере
информационных технологий Киевского
научно-исследовательского экспертно-криминалистического
центра МВД Украины, Киев, Украина

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ СЛЕДОВ МОНТАЖА В ЦИФРОВЫХ ФОНОГРАММАХ

Диагностика аутентичности фонограмм объединяет исследования оригинальности (т.е. первичности) фонограммы и наличия (или отсутствия) в ней следов монтажа. Существует настоятельная необходимость создания инструментария для выявления следов цифровой обработки (следов цифрового монтажа) в фонограммах. Предложено, наряду с разработанными ранее инструментами, применить нейронные сети глубокого обучения для создания экспертного инструментария, предназначенного для выявления следов цифровой обработки в фонограммах. Создана общая методика проведения экспертизы подлинности цифровых фонограмм, основанная на инструментарии, разработанном авторами.

Ключевые слова: *звукозапись, подлинность фонограммы, цифровая фонограмма, экспертиза подлинности фонограмм*

Діагностика автентичності фонограм об'єднує дослідження оригінальності (тобто первинності) фонограми і наявності (чи відсутності) в ній слідів монтажу. Постає нагальна необхідність у створенні інструментарію для виявлення слідів цифрової обробки (слідів цифрового монтажу) у фонограмах. Запропоновано разом

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

з розробленими раніше інструментами застосовувати нейронні мережі глибокого навчання для створення експертного інструментарію, призначеного для виявлення слідів цифрової обробки у фонограмах. Створено загальну методіку проведення експертизи достовірності цифрових фонограм, засновану на інструментарії, розробленому авторами.

Ключові слова: звукозапис, справжність фонограми, цифрова фонограма, експертиза справжності фонограм.

В комплект інструментарія, необхідного для проведення судової технічної експертизи матеріалів і апаратури звукозапису, обов'язково входять програми і методіки для діагностических досліджень подлинності (аутентичності) фонограм. Діагностика аутентичності фонограм об'єднує дослідження оригінальності (т.е. первичності) фонограмми і наявності (або відсутності) в ній слідів монтажу.

В наші часи для запису фонограм переважно використовується цифрова апаратура звукозапису, а монтаж виконується з використанням цифрової обробки сигналів, зафіксованих в фонограмах. Тому існує реальна необхідність створення інструментарія для виявлення слідів цифрової обробки (слідів цифрового монтажу) в фонограмах [1]. Вона стимулювала проведення відповідних досліджень в різних країнах світу. В останні 10 років дослідження ведуться по різних напрямках [2–11; 13–17]. Так, в країнах ЄС перевага віддана дослідженням методів використання сигналів мережної наводки, фіксуємих в фонограмі [2–10]. Як показано в роботах [11; 12], системи, побудовані на такому підході, принципово не можуть забезпечити високу ефективність. В РФ і США перевага віддається напрямку, заснованому на дослідженні спектрального складу сигналів власних шумів, зафіксованих в фонограмі. Однак при побудові такого інструментарія в РФ і США використовуються традиційні методи обробки сигналів, засновані на час-частотному аналізі, використовуючим кратковременне (вікнове) перетворення Фур'є [13–16; 19]. При цьому ніяких додаткових методів обробки не застосовуються [12]. Однак з'являються перші спроби використання нейронних мереж глибокого навчання при ідентифікації апаратури запису по власним шумам [17]. При цьому шуми від мовних сигналів пропонується відокремлювати шляхом застосування вейвлет – перетворення з допомогою методу декомпозиції. Ефективність ідентифікації цифрової апаратури звукозапису, отримана при дослідженні можливості застосування для цього нейронної мережі глибокого навчання, склала 93 % [17]. Спроб застосування нейронних мереж глибокого навчання для виявлення слідів цифрового монтажу в фонограмах автори не виявили.

В роботі [1] нами запропоновано застосувати такі мережі для створення експертного інструментарія для виявлення слідів цифрової обробки в фонограмах, і проведені попередні дослідження, показавші можливість побудови такої високоєфективної системи [20; 21]. Створена перша версія програми такої системи.

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

Цель работы – создание общей методики проведения экспертизы подлинности цифровых фонограмм, основанной на инструментах, разработанных авторами.

Построение системы выявления следов цифрового монтажа фонограмм

Монтаж фонограмм производится в паузах речевой информации (как правило, в паузах между фразами или словами). Поэтому поиск следов цифровой обработки сводится к нахождению признаков такого монтажа в паузах, зафиксированных на фонограммах [17], а сам процесс следует отнести к задаче бинарной классификации. Сложность построения такой системы состоит в том, что, во-первых, признаки такой обработки чрезвычайно малы и, во-вторых, их выделение из сигналов пауз известными классическими методами обработки весьма проблематично [18]. Это поясняется тем, что сигналы в паузах представляют собой случайный процесс, образованный смесью сигналов окружающей звуковой среды и собственных шумов аппаратуры записи. Уровни собственных шумов аппаратуры цифровой звукозаписи ничтожно малы, а именно, в них содержатся следы цифровой обработки [18; 19].

С точки зрения сложности выявления цифровой монтаж можно разделить на два основных вида: монтаж, выполненный из фрагментов фонограмм, записанных на разной аппаратуре записи, и монтаж, выполненный из фрагментов фонограмм, записанных на одной аппаратуре.

Фонограммы, смонтированные из фрагментов, записанных на разной аппаратуре, содержат больше признаков монтажа, поскольку содержат аппаратные шумы разного состава, зафиксированные во фрагментах смонтированной фонограммы. Статистически состав сигналов собственных шумов аппаратуры в разных фрагментах принадлежит к разным совокупностям, что облегчает задачу выявления следов монтажа [18; 19]. Отметим, что если фрагментов различных фонограмм в смонтированном фальсификате много, то статистический состав сигналов будет иметь большое различие с образцовой фонограммой при проверке ее оригинальности. В этом случае фонограмма будет признана неоригинальной. Но если процент таких “вкраплений” ничтожен (изменили или вставили несколько слов), то весьма велика вероятность того, что фонограмма будет признана оригинальной. Поэтому аудиовизуальный контроль эксперта при выявлении следов монтажа как имел, так и имеет большое значение.

Монтаж, выполненный из фонограмм, записанных на одной аппаратуре, является наиболее сложным для выявления, т.к. выделяемые признаки имеют один источник происхождения и статистически принадлежат к одной совокупности [18; 19]. Особую сложность для выявления представляет монтаж, выполненный из фрагментов одной фонограммы [22; 23]. Это монтаж, выполненный способом вырезания и перестановки фрагментов фонограммы, который достаточно просто реализуется в современных звуковых редакторах. В работах [22; 23] было показано

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

теоретически и доказано экспериментально, что при таком монтаже происходит изменение спектрального и фрактального состава шумов, зафиксированных на смонтированной фонограмме. Но эти изменения крайне малы, что не позволяет их выявить методами, построенными на исследованиях фрактального состава сигналов шумов фонограммы.

Эти обстоятельства определили необходимость исследований возможности применения нейронных сетей глубокого обучения в качестве основного подхода к созданию экспертного инструментария, способного выявлять следы такого монтажа [20]. При подтверждении этой возможности (что показано в работах [20; 21]) была установлена потребность в весьма значительном объеме вычислений, производимых при бинарной классификации (есть следы монтажа или их нет) паузы.

Поэтому, с учетом всех приведенных рассуждений, можно предложить общую методику проведения экспертизы по выявлению следов цифрового монтажа в фонограммах. Экспертиза должна проводиться в два этапа. На первом этапе следует проверять отсутствие или наличие следов монтажа, выполненного из фрагментов фонограмм, записанных на разной аппаратуре. На втором – следы монтажа, выполненного на одной аппаратуре или из одной фонограммы. Это говорит о том, что для этих двух проверок следует применить разные инструменты.

Для выявления следов монтажа, выполненного из фрагментов фонограмм, записанных на разной аппаратуре, подходит автоматизированная система “Фрактал”, выявляющая различие фрактального состава сигналов собственных шумов на различных участках фонограммы. Эксперту достаточно выделить два подозрительных, с его точки зрения, участка фонограммы и сравнить их между собой как две отдельные фонограммы. Если таких участков немного, то можно воспользоваться опцией идентификации, если их много – опцией верификации фонограмм. Сравнение происходит в автоматическом режиме с указанием величины ошибки первого или второго рода. На рис. 1 показано главное меню автоматизированной программы “Фрактал”, на рис. 2 – результат сравнения двух участков смонтированной фонограммы в режиме проверки с использованием опции “Идентификация”, на рис. 3 – результат сравнения нескольких участков фонограммы в режиме проверки с использованием опции “Верификация”.

Очевидно, что если разные фрагменты исследуемой фонограммы отличаются по характеристикам собственных шумов, то фонограмма смонтирована. Иными словами, различие фрактальных характеристик шумов на разных участках фонограммы является признаком монтажа, выполненного из фрагментов фонограмм, записанных на разной аппаратуре. При этом следует отметить, что в программе “Фрактал” выделение собственных шумов фонограммы производится по всей ее длине из смеси речевых сигналов, сигналов звуковой среды и собственных шумов. Для этого используется вейвлет – преобразование сигналов, зафиксированных на фонограмме, и их последующая декомпозиция.

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

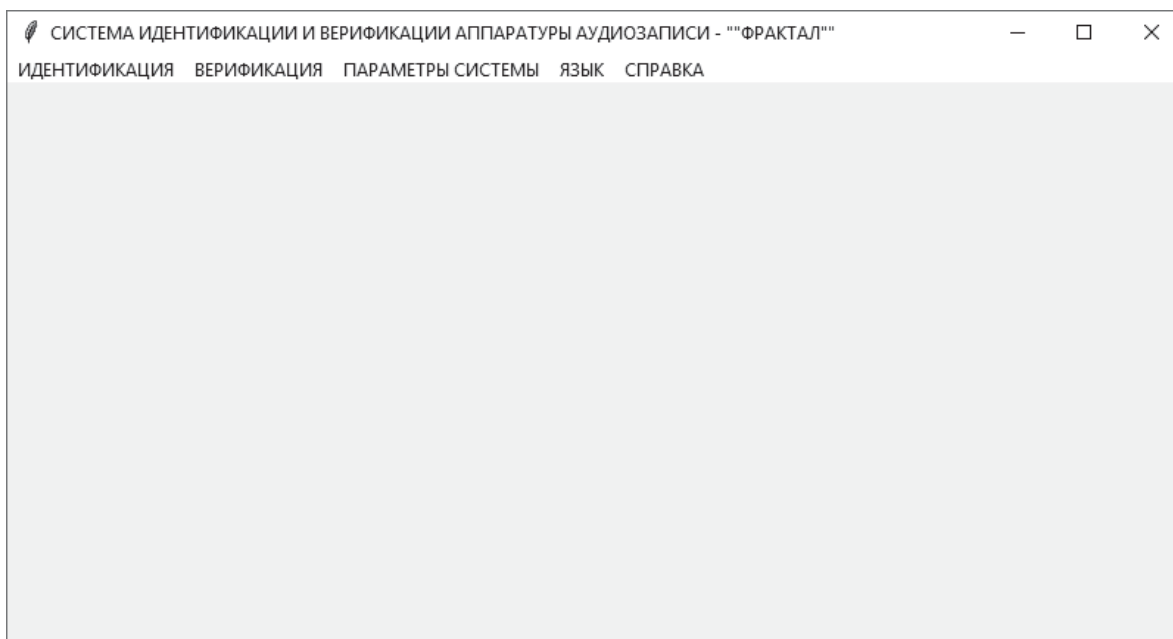


Рис. 1. Главное меню автоматизированной программы “Фрактал”

При выявлении следов монтажа с использованием программы “Фрактал” необходимость дальнейшей проверки отпадает. Но если в результате этой проверки такие следы не выявлены, необходимо провести проверку на инструменте, использующем нейронную сеть глубокого обучения.

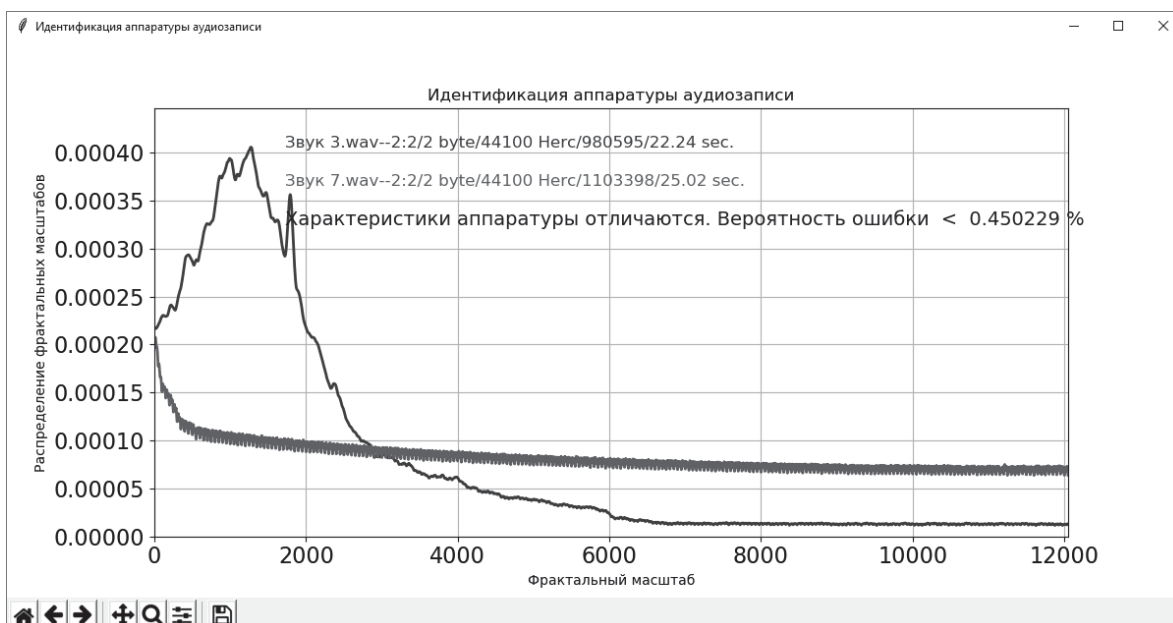
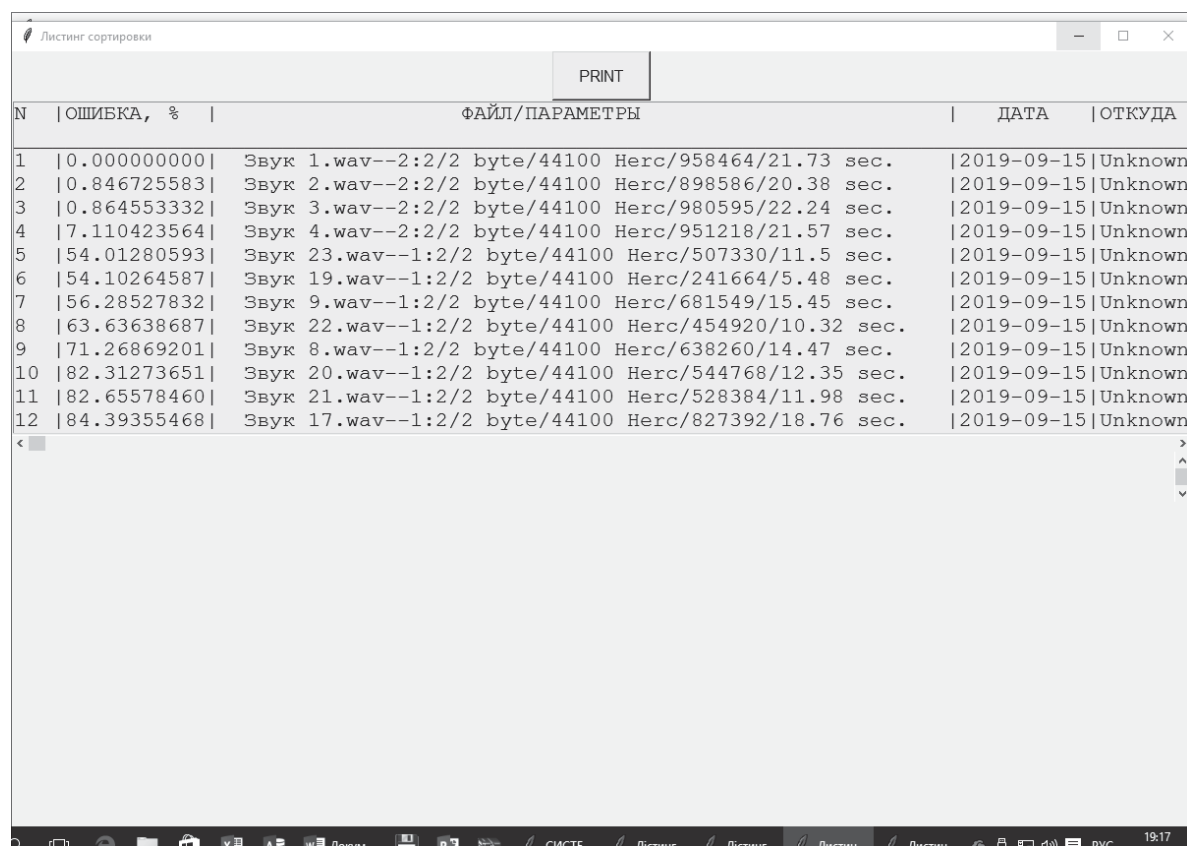


Рис. 2. Результат сравнения двух участков смонтированной фонограммы в режиме проверки с использованием опции “Идентификация”

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019



N	ОШИБКА, %	ФАЙЛ/ПАРАМЕТРЫ	ДАТА	ОТКУДА
1	0.000000000	Звук 1.wav--2:2/2 byte/44100 Herc/958464/21.73 sec.	2019-09-15	Unknown
2	0.846725583	Звук 2.wav--2:2/2 byte/44100 Herc/898586/20.38 sec.	2019-09-15	Unknown
3	0.864553332	Звук 3.wav--2:2/2 byte/44100 Herc/980595/22.24 sec.	2019-09-15	Unknown
4	7.110423564	Звук 4.wav--2:2/2 byte/44100 Herc/951218/21.57 sec.	2019-09-15	Unknown
5	54.01280593	Звук 23.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/507330/11.5 sec.	2019-09-15	Unknown
6	54.10264587	Звук 19.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/241664/5.48 sec.	2019-09-15	Unknown
7	56.28527832	Звук 9.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/681549/15.45 sec.	2019-09-15	Unknown
8	63.63638687	Звук 22.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/454920/10.32 sec.	2019-09-15	Unknown
9	71.26869201	Звук 8.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/638260/14.47 sec.	2019-09-15	Unknown
10	82.31273651	Звук 20.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/544768/12.35 sec.	2019-09-15	Unknown
11	82.65578460	Звук 21.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/528384/11.98 sec.	2019-09-15	Unknown
12	84.39355468	Звук 17.wav--1:2/2 byte/44100 Herc/827392/18.76 sec.	2019-09-15	Unknown

Рис. 3. Результат сравнения нескольких участков фонограммы в режиме проверки с использованием опции “Верификация”

Такая очередность определяется большим объемом вычислительных операций, производимых в этой программе и, следовательно, значительно большим временем, необходимым для проведения такой проверки. Сократить время этой проверки можно, если ограничить длительность исследуемой фонограммы, что можно сделать, подвергнув ей только подозрительные участки (или участок), выявленные и выделенные экспертом.

В отличие от программы “Фрактал”, в программе, основанной на нейронной сети глубокого обучения, проверка проводится только в паузах между речевыми сигналами. Выделение этих пауз проводится в автоматическом режиме. Программа построена как полносвязная нейронная сеть в 50 нейронных слоев с прореживанием (dropout) и пакетной нормализацией. Она решает задачу бинарной классификации на базе автоматической фрагментации массивов пауз на временные отрезки длительностью 20 мсек размерностью 882. Результаты такой классификации для пауз, содержащих следы монтажа, показаны на рис. 4, для пауз без следов монтажа – на рис. 5.

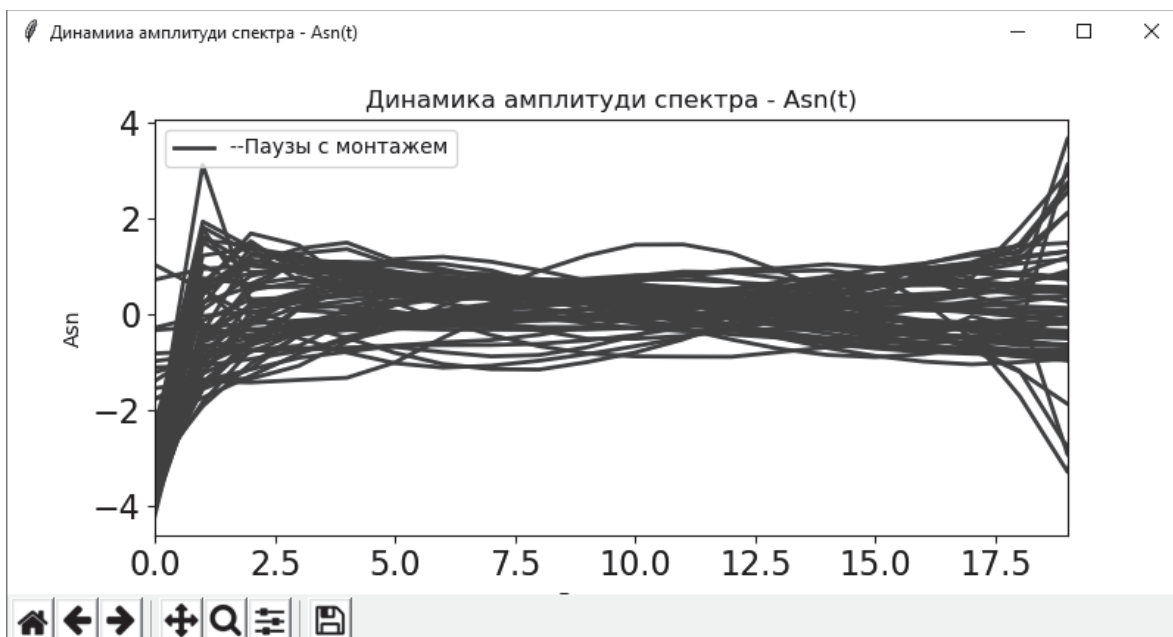


Рис. 4. Динамика изменения нормированной средневзвешенной амплитуды спектра A_{sn} паузы с монтажом

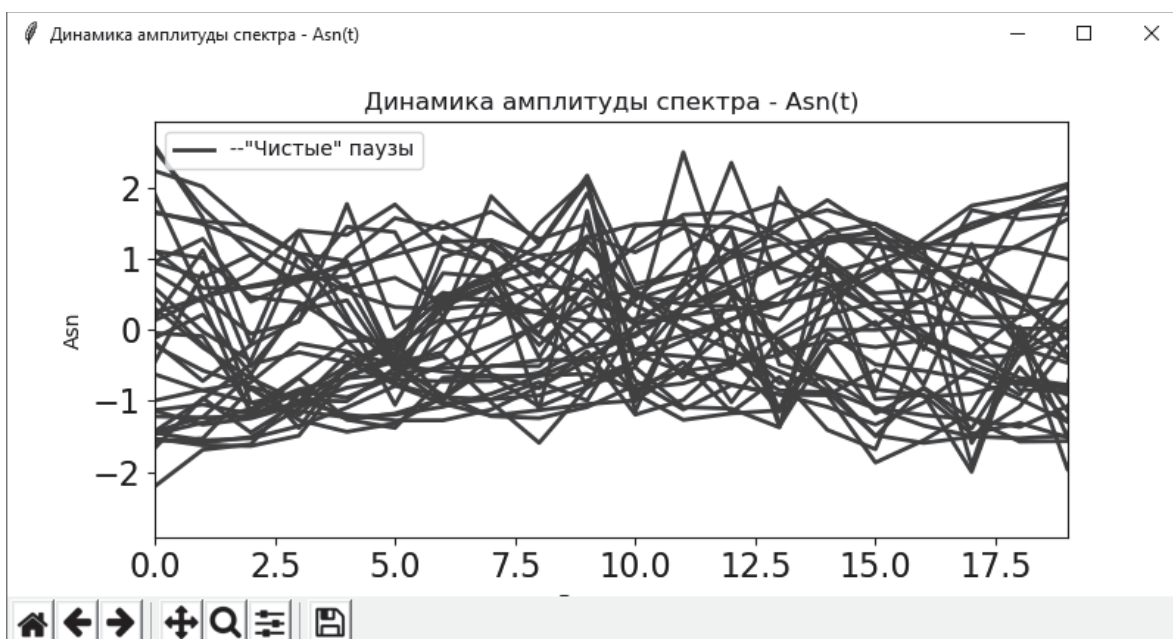


Рис. 5. Динамика изменения нормированной средневзвешенной амплитуды спектра A_{sn} паузы без монтажа

На рис. 4 и рис. 5 наблюдается закономерность, при которой графики динамики нормированной средневзвешенной амплитуды A_{sn} спектра сигналов собственных шумов пауз, содержащих следы монтажа, носят упорядоченный характер, а графики без таких следов – хаотический.

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

Таким образом, предложено при проверке подлинности цифровых фонограмм рассматривать два различных вида монтажа: монтаж, выполненный из фрагментов фонограмм, записанных на разной аппаратуре записи, и монтаж, выполненный из фрагментов фонограмм, записанных на одной аппаратуре.

Для выявления этих видов монтажа предложена методика, основанная на новых автоматизированных программах. Одна из них разработана с использованием фрактального подхода, а вторая – нейронных сетей глубокого обучения. Поэтому методика предусматривает проведение проверки наличия или отсутствия следов монтажа в два этапа. На первом этапе следует проводить проверку наличия следов монтажа, выполненного из фрагментов фонограмм, записанных на разной аппаратуре. Эта программа построена на основе фрактального подхода и предусматривает исследование фонограммы по всей ее длительности. В случае отсутствия таких следов необходимо провести второй этап проверки, предназначенной для выявления следов монтажа из фрагментов фонограмм, записанных на одной аппаратуре. На втором этапе проверка проводится с использованием программы, построенной на основе нейронной сети глубокого обучения.

Выводы

При построении системы выявления следов цифрового монтажа в фонограммах предложено исходить из того, что смонтировать фонограмму можно из разных исходных материалов – фонограмм, записанных на разной аппаратуре звукозаписи, и фонограмм, записанных на одной аппаратуре. Для выявления следов, возникающих при таких видах монтажа, необходимо пользоваться разным инструментарием, что позволяет значительно сократить трудоемкость и время проведения экспертизы. Для диагностики монтажа, выполненного из записей, сделанных на разной аппаратуре, целесообразно использовать инструментарий, построенный на основе фрактального подхода, в частности, автоматизированный инструментарий “Фрактал”. Для диагностики монтажа, выполненного из записей, сделанных на одной аппаратуре звукозаписи, целесообразно использовать инструментарий, построенный на основе нейронной сети глубокого обучения. Оба вида инструментария разработаны авторами.

Поскольку эксперту неизвестно, какой из видов монтажа может быть использован при подделке фонограммы, предложена общая методика проведения экспертизы подлинности, предусматривающая первоначальную проверку проводить на наличие (или отсутствие) следов монтажа, выполненного из фонограмм, записанных на разной аппаратуре. И только в случае отсутствия таких следов проводить проверку на отсутствие следов монтажа, выполненного из фонограмм, записанных на одной аппаратуре. Такой подход позволяет снизить трудоемкость и время проведения экспертизы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбальский О.В., Соловьев В.И., Журавель В.В. Основные требования к системе выявления точек цифрового монтажа в фонограммах и методология ее создания. Информатика та математичні методи в моделюванні. 2018. Т. 8. № 3. С. 232–237.

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

DOI (Article): <https://doi.org/>

Issue 3(58) 2019

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

2. *Korycki R.* Methods of time-frequency analysis in authentication of digital audio recordings. *INTL Journal of Electronics and Telecommunication*, 2010, Vol. 56, No. 3, pp. 257–262.
3. *D.P. Nicolalde and J.A. Apolinario.* Evaluating digital audio authenticity with spectral distances and ENF phase change, in *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2009, pp. 1417–1420.
4. *D.P. Nicolalde and J.A. Apolinario, L.W.P Biscainho* Audio authenticity: Detecting ENF discontinuity with high precision phase analysis, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 5, pp. 534–543, 2010.
5. *A.J. Cooper.* An automated approach to the Electric Network Frequency (ENF) criterion-Theory and practice, *International Journal of Speech Language and the Law*, vol. 16, pp. 193–218, 2009.
6. *M. Huijbregtse and Z. Geradts.* Using the ENF criterion for determining the time of recording of short digital audio recordings, *Computational Forensics*, pp. 116–124, 2009.
7. *Grigoras, Catalin.* Statistical Tools for Multimedia Forensics. Presented at the 39th AES International Conference Audio Forensics-Practices and Challenges, Hillerod, Denmark, June 17–19, 2010.
8. *Jenkins, Christopher W.* An Investigative Approach to Configuring Forensic Electric Network Frequency Databases. Master's Thesis, University of Colorado Denver, 2011.
9. *Brixen, Eddy.* Audio Metering Measurements, Standards and Practices: Second Edition. United States: Elsevier, 2011.
10. *Grigoras, Catalin, et al.* Advances in ENF Database Configuration for Forensic Authentication of Digital Media. Presented at 131st convention of the Audio Engineering Society, New York, New York, October 20–23, 2011.
11. *Rappaport D.* Establishing a Standard for Digital Audio Authenticity: A Critical Analysis of Tools, Methodologies, and Challenges Thesis directed by Catalin Grigoras / D. Rappaport. URL: <http://aquarius.ime.eb.br/~apolin/papers/IEEEETIFS2010Daniel.pdf> (дата звернення: 22.07.2019).
12. *Татарнікова Т.О.* Аналіз стану експертизи матеріалів та засобів цифрового звукозапису в різних країнах. *Наука і правоохорона*. № 3 (13). 2011. С. 89–92.
13. *Cooper A.J.* Detection of Copies of Digital Audio Recordings Produced Using Analogue Interfacing. *International Journal of Speech, Language, and the Law* Vol. 15, No. 1 (2008): 67–95.
14. *C.-B. Moon, H. Kim, B.M. Kim.* Audio recorder identification using reduced noise features, in: *Ubiquitous Information Technologies and Applications*, Springer, 2014, pp. 35–42.
15. *R. Aggarwal, S. Singh, A.K. Roul, N. Khanna,* Cellphone identification using noise estimates from recorded audio, in: *Communications and Signal Processing (ICCSP), 2014 International Conference on, IEEE, 2014, pp. 1218–1222.*
16. *D. Garcia-Romero, C.Y. Espy-Wilson.* Automatic acquisition device identification from speech recordings, in: *Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010 IEEE International Conference on, IEEE, 2010, pp. 1806–1809.*
17. *Simeng Qi, Zheng Huang, Yan Li, Shaopei Shi.* Audio Recording Device Identification Based on Deep Learning. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1602/1602.05682.pdf> (дата звернення: 22.07.2019).
18. *Рыбальский О.В., Жариков Ю.Ф.* Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе. К.: НАВСУ, 2003. 300 с.
19. *Рыбальський О.В.* Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі. К.: Нац. акад. внутр. справ України, 2004. 167 с.
20. *Соловьев В.И., Рыбальский О.В., Журавель В.В.* Обоснование принципиальной возможности применения нейронных сетей глубокого обучения для построения системы выявления следов цифровой обработки фонограмм. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. № 1.
21. *Соловьев В.И., Рыбальский О.В., Журавель В.В.* Метод выявления связи классических моделей с результатами бинарной классификации объектов в нейронных сетях глубокого обучения. *Проблемы управления и информатики*. 2019. № 6.
22. *Рыбальский О.В., Соловьев В.И., Журавель В.В.* Следы монтажа в цифровых фонограммах, выполненного способом вырезания и перестановки фрагментов. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2016. Т. 18. № 1. С. 32–41.
23. *Рыбальский О.В., Соловьев В.И., Журавель В.В.* Экспериментальная проверка эффекта изменения фрактального состава сигналов при монтаже фонограммы способом вырезания и перестановки фрагментов. *Сучасна спеціальна техніка*. 2016. № 3. С. 75–85.

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

REFERENCES

1. Rybalskyi, O.V., Soloviyov, V.I., Zhuravel, V.V. (2018) Osnovnye trebovaniya k systeme vyyavleniya tochek tsifrovogo montazha v fonogrammakh i metodologiya eye sozdaniya. "The Basic Requirements to the System of Exposure of Points of the Digital Editing in Phonograms and Methodology of Its Creation". *Informatica ta matematichi metody v modeluvanni = Informatics and Mathematical Methods in Simulation* 3, 232–237 [in Russian].
2. Korycki, R. (2010) Methods of time-frequency analysis in authentication of digital audio recordings. *INTL Journal of Electronics and Telecommunication*. Vol. 56, No 3, pp. 257–262 [in English].
3. D.P. Nicolalde and J.A. Apolinario (2009) Evaluating digital audio authenticity with spectral distances and ENF phase change, in Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 1417–1420 [in English].
4. D.P. Nicolalde and J.A. Apolinario, L.W.P. Biscainho (2010) Audio authenticity: Detecting ENF discontinuity with high precision phase analysis, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. Vol. 5, pp. 534–543 [in English].
5. A.J. Cooper (2009) An automated approach to the Electric Network Frequency (ENF) Criterion-Theory and Practice. *International Journal of Speech Language and the Law*. Vol. 16, pp. 193–218 [in English].
6. M. Huijbregtse and Z. Geradts (2009) Using the ENF criterion for determining the time of recording of short digital audio recordings. *Computational Forensics*, pp. 116–124 [in English].
7. Grigoras, Catalin (2010) Statistical Tools for Multimedia Forensics Presented at the 39th AES International Conference Audio Forensics-Practices and Challenges, Hillerod, Denmark, June 17–19 [in English].
8. Jenkins, Christopher W. (2011) An Investigative Approach to Configuring Forensic Electric Network Frequency Databases. Master's Thesis, University of Colorado Denver [in English].
9. Brixen, Eddy (2011) Audio Metering Measurements, Standards and Practices: Second Edition. United States: Elsevier [in English].
10. Grigoras, Catalin, et al. (2011) Advances in ENF Database Configuration for Forensic Authentication of Digital Media. Presented at 131st convention of the Audio Engineering Society, New York, New York, October 20–23 [in English].
11. Rappaport D. Establishing a Standard for Digital Audio Authenticity: a Critical Analysis of Tools, Methodologies, and Challenges Thesis directed by Catalin Grigoras. URL: <http://aquarius.ime.eb.br/~apolin/papers/IEEETIFS2010Daniel.pdf> (Date of Application: 22.07.2019) [in English].
12. Tatarnikova, T.O. (2011) Analiz stanu expertizy materialiv ta zasobiv tsyfrovogo zvukozapysu v riznykh krainakh. "An Analysis of the State of Examination of Materials and Facilities of the Digital Audio Recording in Different Countries". *Nauka i Pravoohorona* 3 (13), 89–92 [in Ukrainian].
13. Cooper, A.J. (2008) Detection of Copies of Digital Audio Recordings Produced Using Analogue Interfacing. *International Journal of Speech, Language, and the Law*. Vol. 15, No1, pp. 67–95 [in English].
14. C.-B. Moon, H. Kim, B.M. Kim (2014) Audio recorder identification using reduced noise features, in: *Ubiquitous Information Technologies and Applications*, Springer, pp. 35–42 [in English].
15. R. Aggarwal, S. Singh, A.K. Roul, N. Khanna (2014) Cellphone identification using noise estimates from recorded audio, in: *Communications and Signal Processing (ICCSP)*. International Conference on, IEEE, pp. 1218–1222 [in English].
16. D. Garcia-Romero, C.Y. Espy-Wilson (2010) Automatic acquisition device identification from speech recordings, in: *Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2010 IEEE International Conference, IEEE, pp. 1806–1809 [in English].
17. Simeng Qi, Zheng Huang, Yan Li, Shaopei Shi. Audio Recording Device Identification Based on Deep Learning. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1602/1602.05682.pdf> (Date of Application: 22.07.2019) [in English].
18. Rybalsky, O.V., Zharikov, Y.F. (2003) Sovremennye metody proverki autentichnosti magnitnykh fonogramm v sudebno-akusticheskoy expertize. "Modern Methods of Verification of Authenticity of Magnetic Phonograms in Judicial and Acoustic Examination". Kyiv, NAVSU Publ. 300 p. [in Russian].

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

19. *Rybalsky, O.V.* (2004) Zastosuvannya velvet-analizu dlya vvyavleniia slidiv tsyfrovoy obrobki analogovykh i tsyfrovyykh fonogramm u sudovo-akustychniy expertizi. "Application of Wavelet Analysis for the Exposure of Tracks of Digital Treatment of Analogue and Digital Phonograms in Judicial Acoustic Examination". Kyiv, NAVSU Publ., 167 p. [in Ukrainian].

20. *Solovyov, V.I., Rybalsky, O.V., Zhuravel, V.V.* (2020) Obosnovanie printsipialnoi vozmozhnosti primeneniya neironnykh setey glubokogo obucheniya dlya postroeniya systemy vvyavleniia sledov tsyfrovoy obrabotki fonogramm "Grounds of Fundamental Possibility of Neuron Networks of the Deep Learning for the Construction of the System of Exposure of Tracks of Digital Processing of Phonograms". *Cibernetika i systemny analiz = Cybernetics and Analysis of the Systems* 1 (in press) [in Russian].

21. *Solovyov, V.I., Rybalsky, O.V., Zhuravel, V.V.* (2019) Metod vvyavleniia svyazi klassicheskikh modeley s rezul'tatamy binarnoi klassifikatsii ob'ektov v neironnykh setaykh glubokogo obucheniya. "Method of Exposure of Connection of Classic Models with the Results of Binary Classification of Objects in the Neuron Networks of the Deep Learning". *Problemy upravleniia i informatiki = Journal of Automation and Information Sciences* 6 (in press) [in Russian].

22. *Rybalsky, O.V., Solovyov, V.I., Zhuravel, V.V.* (2016) Sledy montazha v tsyfrovyykh fonogrammakh, vpolnennogo sposobom vyrezaniya i perestanovki fragmentov. "Tracks of Editing in Digital Phonograms, Excision and Transposition of Fragments Executed by a Method". *Registratsiya, zberigannya i obrobka danykh = Data Recording, Storage & Processing* No 1, P. 32–41 [in Russian].

23. *Rybalsky, O.V., Solovyov, V.I., Zhuravel, V.V.* (2016) Eksperimentalnaya proverka efekta izmeneniya fractalnogo sostava signalov pri montazhe fonogrammy sposobom vyrezaniya i perestanovki fragmentov. "Experimental Verification of Effect of Change of Fractal Composition of Signals at Editing of Phonogram by the Method of Excision and Transposition of Fragments". *Suchasna spetsialna tekhnika = Modern Special Technics* No 3, P. 75–85 [in Russian].

UDC 621.317+681.849

Rybalskyi Oleh,

Doctor of Technical Sciences, Professor, State Prize Laureate,
Chief Researcher of Research Lab, Professor of the Department of the
National Academy of Internal Affairs, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0002-1440-8344

Soloviov Viktor,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Co-Head of the Department of Volodymyr Dahl East
Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine,
ORCID ID 0000-0003-3541-4740

Zhuravel Vadym,

Candidate of Technical Sciences, Head of Research Lab, Kyiv Research Forensics Centre,
Ministry of Internal Affairs, Kyiv, Ukraine

GENERAL METHODOLOGY OF HIGH-EFFICIENCY DIAGNOSTICS OF TRACKS OF EDITING IN DIGITAL PHONOGRAMS

Into the complete set of tools necessary for the judicial technical examination of materials and apparatus of the audio recording, the programs and methodologies (tool) for diagnostic researches of authenticity of phonograms are obligatorily included. Diagnostics of authenticity of phonograms unites researches of originality (i.e. to priority) of phonogram and presence (or absence) in it the tracks of editing. Presently

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

for the record of the phonograms the digital apparatus of the audio recording is mainly used, and editing is produced with the use of digital processing of the signals fixed in phonograms. Therefore there is an insistent necessity of creation of tool for the exposure of tracks of digital treatment (tracks of the digital editing) in phonograms. It is offered by us, along with the instruments worked out before, to apply the neuron networks of the deep learning for creation of the expert tool intended for the exposure of tracks of digital treatment in phonograms. Preliminary researches are completed, and the first version of the program of such high-efficiency system is built.

An aim of the study is the creation of general methodology of examining of the authenticity of digital phonograms, based on the tool worked out by authors.

In the construction of such system it is suggested to come from that for editing phonogram it is possible from different pre-product – phonograms taped on the different apparatus of the audio recording, and phonograms, taped on one apparatus. For the exposure of tracks arising up at such types of editing, it is necessary to use a different tool, that allows considerably to shorten labour intensiveness and time of examination. For diagnostics of editing, made from the records taped on different apparatus, it is expedient to use the tool built on the basis of fractal approach, in particular, the automated tool is “Fractal”. For diagnostics of editing, made from the records taped on one apparatus of the audio recording, it is expedient to use the tool built on the basis of neuron network of the deep learning. Both types of tool are worked out by authors. Such approach allows to bring down labour intensiveness and time of examining.

Keywords: audio recording, authenticity of phonogram, digital phonogram, examination of authenticity of phonograms.

Отримано 20.09.2019