

УДК 3.621

МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ МОНТАЖА В ЦИФРОВЫХ ФОНОГРАММАХ

Д. т. н. О. В. Рыбальский¹, В. В. Журавель²,
к. т. н. В. И. Соловьев³, к. т. н. А. Н. Шабля⁴, к. э. н. Л. Н. Тимошенко⁵

¹Национальная академия внутренних дел; ²Государственный научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр МВД Украины, г. Киев;

³Восточноукраинский национальный университет им. А. Даля, г. Северодонецк;

⁴Одесский научно-исследовательский институт судебных экспертиз; ⁵ Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

Украина

rybalsky_ol@mail.ru fonoscopia@ukr.net mettilyd@mail.ru

alikh_shablya@gmail.com lmt0902gmail.com

Рассмотрены процессы, происходящие при монтаже цифровых фонограмм. Теоретически доказано, что монтаж, выполненный способом вырезания и перестановки фрагментов, приводит к образованию следов в обработанных цифровых фонограммах. Показано, что следы такой обработки проявляются в виде возникновения дополнительных высокочастотных спектральных составляющих и изменяют фрактальную структуру сигналов в области малых масштабов мультифрактальных структур.

Ключевые слова: аппаратура цифровой звукозаписи, цифровая фонограмма, шумы фонограммы, шумы аппаратуры записи, спектр сигналов, фрактальная структура.

Известно, что одним из самых сложных для выявления способов подделки цифровых фонограмм является способ цифровой обработки, называемый вырезанием и перестановкой фрагментов из одного места фонограммы в другое [1, 2]. Эта операция проводится в звуковых редакторах в паузах речевого сигнала.

Целью работы является апробация модели процессов, происходящих при цифровом монтаже фонограмм, который выполняется в паузах между звуковыми сигналами, позволяющей представить механизм возникновения идентификационных признаков, присущих такому монтажу. Это позволит определить направления построения системы, предназначенной для выявления такого монтажа.

В [3, 4] принято предположение, что вырезание какого-либо блока из непрерывной последовательности сигналов (в каком бы виде эти сигналы ни были представлены) эквивалентно умножению

данного отрезка на функцию $\text{rect} \frac{t}{\Delta}$. Под данной операцией подразумевается, что длительность выделяемого отрезка равна Δ , а сама операция называется операцией стробирования. Рассмотрим эту операцию с учетом различия речевых сигналов и сигналов в паузе. Примем модель, при которой фонограмма представлена в виде двух чередующихся участков: $s_1(t) = A_{m1} \cos \omega_{01}t$ – участок с сигналом речи, а сигнал паузы – в виде $s_2(t) = A_{m2} \cos \omega_{02}t$, при этом $A_{m1} \gg A_{m2}$ и $\omega_{02} > \omega_{01}$.

Рассмотрим вырезанный участок исходного сигнала, состоящего из чередующихся участков речи и пауз, после того, как он прошел через систему аналого-цифро-аналогового преобразования (АЦАП). Это соответствует процессу цифровой записи-воспроизведения в аппаратуре цифровой звукозаписи (АЦЗЗ).

Тогда сигнал на входе АЦАП АЦЗЗ можно записать как

$$s(t) = A_{m1} \cos \omega_{01}t + A_{m2} \cos \omega_{02}t, \quad (1)$$

а сигнал на выходе системы АЦАП запишется в виде

$$s_{\Sigma}(t) = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-n_1T_1}{T_1}\right) \cdot [\cos \omega_{01}(n_1T_1) + \cos \omega_{02}(n_1T_1)], \quad (2)$$

где n_1 – номер отсчета (выборки) сигнала на выходе дискретизатора АЦП АЦЗЗ, T_1 – шаг дискретизации АЦАП в АЦЗЗ.

Спектр этого сигнала записывается как преобразование Фурье сигнала (2) и имеет вид

$$S_{\Sigma}(j\omega) = \frac{(A_{m1} + A_{m2})\omega_{D1}}{\omega} \sin \omega \frac{T_1}{2} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} [\delta(\omega - \omega_{01} - k_1\omega_{D1}) + \delta(\omega + \omega_{01} - k_1\omega_{D1}) + \delta(\omega - \omega_{02} - k_1\omega_{D1}) + \delta(\omega + \omega_{02} - k_1\omega_{D1})], \quad (3)$$

где ω_{D1} – частота дискретизации в АЦАП АЦЗЗ, $\omega_{D1} = \frac{2\pi}{T_1}$.

Соответственно, отрезок сигнала, подвергнутый операции стробирования, на выходе системы АЦАП запишется как

$$s_{\Sigma Sr}(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\Delta_B}\right) \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-n_1T_1}{T_1}\right) \cdot [\cos \omega_{01}(n_1T_1) + \cos \omega_{02}(n_1T_1)], \quad (4)$$

где Δ_B – длительность вырезанного участка сигнала ($\Delta_B > T_1$).

Воздействуя оператором прямого преобразования Фурье на обе части уравнения (4), можно получить спектр этого сигнала на выходе системы АЦАП. При этом следует учесть, что преобразованию Фурье произведения сигналов во временной области представления сигналов соответствует свертка спектров этих сигналов в спектральной области, то есть

$$S_{\Sigma Sr}(j\omega) = F\{s_{\Sigma Sr}(t)\} = F\left\{\text{rect}\left(\frac{t}{\Delta_B}\right) \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-n_1T_1}{T_1}\right) [\cos \omega_{01}(n_1T_1) + \cos \omega_{02}(n_1T_1)]\right\} = F\left\{\text{rect}\left(\frac{t}{\Delta_B}\right)\right\} \otimes F\left\{\sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-n_1T_1}{T_1}\right) [\cos \omega_{01}(n_1T_1) + \cos \omega_{02}(n_1T_1)]\right\}. \quad (5)$$

Для раскрытия соотношения (5) введем новую переменную для операции свертки и, воспользовавшись теоремой запаздывания для δ -функции, получим общее соотношение для спектра вырезанного сигнала. Но предварительно определим «нулевые» значения аргументов, стоящие под ее знаком. Они определяются, как $\nu = \omega - \omega_0 - k_1\omega_{D1}$ и $\nu = \omega + \omega_0 - k_1\omega_{D1}$ для каждой из частот, соответствующих модели для звукового сигнала и паузы. После применения элементарных тригонометрических преобразований спектр вырезанного и перенесенного сигнала окончательно принимает вид

$$S_{\Sigma Sr} = \frac{A_{m1}}{T_1} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\cos[(\omega - \omega_{01} - k_1\omega_{D1})\Delta_B - (\omega_{01} + k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega - \omega_{01} - k_1\omega_{D1})(\omega_{01} - k_1\omega_{D1})} + \frac{\cos[(\omega + \omega_{01} - k_1\omega_{D1})\Delta_B + (\omega_{01} - k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega + \omega_{01} - k_1\omega_{D1})(-\omega_{01} + k_1\omega_{D1})} \right\} - \frac{A_{m1}}{T_1} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\cos[(\omega - \omega_{01} - k_1\omega_{D1})\Delta_B + (\omega_{01} + k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega - \omega_{01} - k_1\omega_{D1})(\omega_{01} - k_1\omega_{D1})} + \frac{\cos[(\omega + \omega_{01} - k_1\omega_{D1})\Delta_B - (\omega_{01} - k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega + \omega_{01} - k_1\omega_{D1})(-\omega_{01} - k_1\omega_{D1})} \right\} + \frac{A_{m2}}{T_1} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\cos[(\omega - \omega_0 - k_1\omega_{D1})\Delta_B - (\omega_0 + k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega - \omega_0 - k_1\omega_{D1})(\omega_0 - k_1\omega_{D1})} + \frac{\cos[(\omega + \omega_0 - k_1\omega_{D1})\Delta_B + (\omega_0 - k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega + \omega_0 - k_1\omega_{D1})(-\omega_0 + k_1\omega_{D1})} \right\} - \frac{A_{m2}}{T_1} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\cos[(\omega - \omega_{02} - k_1\omega_{D1})\Delta_B + (\omega_{02} + k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega - \omega_{02} - k_1\omega_{D1})(\omega_{02} - k_1\omega_{D1})} + \frac{\cos[(\omega + \omega_{02} - k_1\omega_{D1})\Delta_B - (\omega_{02} - k_1\omega_{D1})T_1]}{(\omega + \omega_{02} - k_1\omega_{D1})(-\omega_{02} - k_1\omega_{D1})} \right\}. \quad (6)$$

Сравнение формул (3) и (6) показывает, что спектр вырезанного сигнала существенно отличается от спектра сигнала, не подвергавшегося обработке. При этом обогащается как спектр речевого

сигнала, так и спектр сигналов паузы. Разумеется, что эти искажения спектра сохраняются и при перезаписи обработанного сигнала. Анализ новых спектральных составляющих показал, что эти искажения происходят вне полосы частот речевого сигнала, поэтому они не оказывают влияния на восприятие воспроизводимых сигналов человеческим слуховым аппаратом.

Более того, из соотношения (6) вытекает, что происходит «дробление» спектра сигнала, что соответствует увеличению числа высокочастотных спектральных составляющих и уменьшению их амплитуд. С точки зрения фрактального представления сигналов, такие изменения спектральных составляющих соответствуют изменению фрактальной структуры сигнала в области малого масштаба самоподобных структур.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Рыбальский О. В., Соловьев В. И. Экспериментальная проверка проявления следов монтажа в цифровых фонограммах // Информатика та математичні методи в моделюванні.– 2015.– Т. 5, № 1.– С. 38–43.
2. 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. 21, № 1.– С. 32–41.
3. Рыбальский О. В. Модели нестандартной подделки цифровых фонограмм // Реєстрація, зберігання і обробка даних.– 2003.– Т. 5, № 4.– С. 25–32.
4. Богданов О. М., Геранін В. О., Рыбальський О. В. Методологія розробки основ теорії виявлення слідів цифрової обробки фонограм та її деякі аспекти // Правове, нормативне, метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні.– 2004.– Вип. 8.– С. 27–28.

O. V. Rybalsky, V. V. Zhuravel, V. I. Solovyov, A. N. Shablia, L. N. Timoshenko

The model of occurrence of identification features of digital soundtracks editing

The authors consider processes that occur during the digital soundtrack editing. Theoretically, it is proved that the editing by cutting and fragments rearrangement results in the formation of traces in the processed digital soundtracks. It is shown that traces of this processing are shown in the form of additional high-frequency spectral components and alter the fractal structure of the signals in the region of small scale multifractal structures.

Keywords: *digital audio equipment, digital soundtrack, soundtracks noise, recording equipment noise, spectrum signals, fractal structure.*
