УДК 004.056.55:004.934
ГРНТИ 28.23.27
ВАК 2.3.6

Проблемы синхронизации и скрытности в аудио стеганографии на основе эхо-кодирования

Наталья Владимировна Попеня

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь
popenya@belstu.by

Эхо-кодирование является одним из стеганографических методов для аудио, обладающим потенциальной устойчивостью к сжатию с потерями [1, 2]. Для повышения незаметности вносимых изменений часто предлагается применять данный метод не ко всему сигналу [3], а лишь к его перцептивно менее значимым участкам, таким как сегменты с низкой энергией (тишина, паузы) [4, 5]. Однако при работе с каналами, вносящими искажения, в частности, при использовании кодеков сжатия с потерями типа AAC [6], возникает проблема синхронизации: как получателю точно определить те блоки сигнала, в которые были встроены данные, если характеристики самого сигнала изменились?

В ходе экспериментов по встраиванию эха в тихие сегменты аудиосигнала, идентифицируемые по пороговому значению энергии в частотной области (после БПФ), было обнаружено следующее. Алгоритм анализа тишины, примененный к исходному аудиосигналу до сжатия, находил определенный набор тихих сегментов. После встраивания данных методом эхо-кодирования, сохранения аудио с использованием кодека AAC (256 кбит/с) и последующей загрузки, тот же самый алгоритм анализа тишины, примененный к искаженному AAC сигналу, идентифицировал иной набор тихих сегментов. Количество сегментов и их границы изменялись, общая длительность доступных для гипотетического встраивания участков также сокращалась.

Это означает, что простой повторный анализ тишины на стороне получателя не позволяет надежно синхронизироваться с отправителем. Попытка извлечения данных только из сегментов, найденных после сжатия, приводит к невозможности извлечь все встроенные биты, так как часть блоков, модифицированных отправителем, больше не классифицируется как "тихие".

В качестве альтернативного подхода к синхронизации был проведен эксперимент с использованием простых синхромаркеров. Была сгенерирована псевдослучайная бинарная последовательность, преобразованная в короткий аудиосигнал путем модуляции амплитуды белого шума. Этот маркер добавлялся с небольшой амплитудой в начало каждого идентифицированного тихого сегмента исходного аудио. После сохранения с AAC и загрузки, производился поиск маркеров с помощью нормированной кросс-корреляции.

Полученные результаты высвечивают фундаментальный компромисс между скрытностью и синхронизацией при использовании методов, зависящих от характеристик сигнала (как анализ тишины), в каналах с потерями. Сжатие изменяет эти характеристики, нарушая синхронизацию. Простые синхромаркеры также оказываются уязвимыми. Тестирование эхо-кодирования при встраивании во все блоки

показало высокую точность после AAC, подтвердив устойчивость самого метода при решенной синхронизации, но ценой потенциального снижения скрытности.

Для реализации надежной и одновременно скрытной стеганографии на основе эхо-кодирования в тихих сегментах аудио, подвергающегося AAC сжатию, необходимо решить проблему синхронизации. Возможные пути включают разработку робастных синхромаркеров, устойчивых к AAC (например, на основе Spread Spectrum)., а также использование психоакустических моделей маскировки вместо простого анализа тишины для адаптивного встраивания по всему сигналу.

Каждый из этих подходов требует дальнейших исследований и усложняет реализацию стеганографической системы. Выбор конкретного решения зависит от приоритетов между скрытностью, емкостью, устойчивостью и сложностью реализации.

Список источников:

1.Конахович, Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. – Киев: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
2. Bender, W. Techniques for data hiding / W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, A. Lu. // IBM Systems Journal. – 1996. – Vol. 35, № 3&4. – P. 313–336.
3. Gruhl, D. Echo Hiding / D. Gruhl, W. Bender, A. Lu // Information Hiding. IH 1996. Lecture Notes in Computer Science. Vol 1174. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1996. – P. 295–315.
4. Алдошина, И.А. Основы психоакустики / И.А. Алдошина. – М.: Оборонгиз, 2000.– 248 с.
5. Бранденбург, К. Кодирование звука с высоким разрешением / К. Бранденбург // Звукорежиссер. – 2001. – № 7. – С. 99–105.
6. Fallahpour, M. Audio Steganography Based on Echo Hiding and Particle Swarm Optimization / M. Fallahpour, D. Megías. // Multimedia Tools and Applications. – 2018. – Vol. 77, № 10. – P. 12623–12641.