УДК 004.056.55:004.934
ГРНТИ 28.23.27
ВАК 2.3.6

Исследование устойчивости эхо-кодирования в аудио стеганографии к AAC сжатию

Наталья Владимировна Попеня

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

Скрытие данных в аудиосигналах является важной задачей стеганографии [1]. Одним из методов, претендующих на устойчивость к сжатию с потерями, является эхо-кодирование, при котором информация вносится путем добавления к сигналу его задержанной копии (эха) [2]. В отличие от методов, модифицирующих наименее значащие биты (LSB), эхо изменяет общую структуру сигнала, что потенциально может сохраняться после перцептивного кодирования, используемого в форматах AAC, MP3 и др. [3]. Однако реальная устойчивость сильно зависит от параметров эха, характеристик сигнала и алгоритма извлечения [4, 5].

Был реализован алгоритм эхо-кодирования, где бит '0' и бит '1' кодируются добавлением эха с разными фиксированными задержками (Delay0, Delay1) и одинаковой амплитудой (alpha). Длина обрабатываемого блока аудио (Len) также была фиксирована. Для извлечения бита применялся кепстральный анализ: вычислялся кепстр (обратное БПФ от логарифма спектра мощности) блока, и в окрестностях ожидаемых задержек Delay0 и Delay1 искались пики. Для повышения надежности детекции был применен адаптивный порог шума, вычисляемый для каждого блока. Решение о бите принималось на основе сравнения высот пиков, превысивших адаптивный порог.

Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе выполнялась автоматическая калибровка параметров alpha, Delay1 (при фиксированных Delay0, Len) путем перебора их значений из заданных диапазонов. Для каждой комбинации встраивалась известная псевдослучайная последовательность бит в копию исходного моно-аудиосигнала (извлеченного из видеоконтейнера), после чего биты извлекались из этой же копии (без сжатия). Выбиралась комбинация параметров, обеспечивающая минимальный коэффициент битовых ошибок (BER).

На втором этапе с оптимальными параметрами, найденными при калибровке, тестовая последовательность бит встраивалась в исходный моно-аудиосигнал. Затем аудиопоток сохранялся с использованием кодека AAC с битрейтом 256 кбит/с (в составе видеофайла). После этого аудиопоток считывался из сжатого файла, и выполнялось извлечение встроенных бит с помощью того же кепстрального детектора. Точность извлечения оценивалась путем сравнения с исходной тестовой последовательностью. Для чистоты эксперимента на втором этапе данные встраивались последовательно во все блоки аудиофайла, чтобы исключить ошибки синхронизации.

В ходе калибровки на тестовом аудиофайле были найдены параметры (alpha=0.2, Delay0=6ms, Delay1=10ms, Len=60ms), позволившие достичь BER = 0% при встраивании/извлечении без сжатия. Это подтвердило корректность реализации базового алгоритма. Однако при тестировании с другими параметрами (alpha=0.8,

D0=25ms, D1=45ms, Len=100ms), которые также показывали высокую точность (>97%) без сжатия, тест после AAC сжатия дал точность 95.00%. Хотя этот результат значительно лучше случайного угадывания и показывает принципиальную устойчивость, он недостаточен для надежной передачи данных без использования кодов коррекции ошибок. Анализ показал, что ошибки возникают из-за искажения формы и амплитуды пиков кепстра после AAC сжатия, что приводит к неправильной работе детектора (пики становятся ниже адаптивного порога шума или их относительная высота изменяется).

Экспериментально подтверждено, что эхо - кодирование с кепстральным детектором и адаптивным порогом шума может демонстрировать значительную устойчивость к AAC сжатию при битрейте 256 кбит/с при условии правильного подбора параметров и отсутствия ошибок синхронизации. Однако остаточный уровень ошибок
(~5 %) требует применения кодов коррекции ошибок (ECC) для гарантированного восстановления данных. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение робастности детектора эха или использование более мощных ECC.

Списокисточников:

1. KBender, W. Techniques for data hiding / W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, A. Lu. // IBM Systems Journal. – 1996. – Vol. 35, № 3&4. – P. 313–336.
2. 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.
3. Алдошина, И.А. Основы психоакустики / И.А. Алдошина. – Москва: Оборонгиз, 2000. – 248 с.
4. Оппенгейм, А.В. Цифровая обработка сигналов = Digital Signal Processing / А.В. Оппенгейм, Р.В. Шафер; пер. с англ.; под ред. С.Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
5. Бранденбург, К. Кодирование звука с высоким разрешением / К. Бранденбург. – Текст: непосредственный // Звукорежиссер. – 2001. – № 7. – С. 99–105.