

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.391.82

МЕТОД АДАПТИВНОГО МАСКИРОВАНИЯ ВИДЕОКАДРА МАСКИРУЕМЫМ СИГНАЛОМ

д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, Е.Р. АДАМОВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)

Предложен метод формирования адаптивного маскирующего видеокadra на основе произвольного маскируемого видеосигнала и хаотической импульсной последовательности. Обоснование преимущества метода за счет свойства адаптивности. Анализ метода в сравнении с существующими методами маскирования видеoinформации.

Ключевые слова: *маскирующий сигнал, маскируемый сигнал, видеосигнал, метод маскирования, хаотическая импульсная последовательность, канал утечки информации.*

Введение. Монитор компьютера при выводе изображения излучает электромагнитный сигнал, формируемый видеокартой. Доступ к данному сигналу на программном уровне позволяет в реальном времени формировать адаптивный маскирующий видеокادر, который может излучаться дополнительной радиоаппаратурой, находящейся в непосредственной близости с монитором, и маскировать путем зашумления его электромагнитное излучение. При этом не оказывается влияние на оптический диапазон излучения и не затрудняется доступ оператора к средству вычислительной техники (СВТ).

Активные методы маскирования являются худшими с точки зрения электромагнитной совместимости и радиоинтерференции, поскольку создают дополнительное излучение, способное превысить установленные нормы [1, 2]. Для решения этой проблемы ставится задача снижения избыточности маскирующего излучения при сохранении уровня защищенности видеосигнала. Предлагается метод маскирования видеoinформации, использующий маскируемый кадр как основу для генерации маскирующего кадра, что придает последнему свойство адаптивности.

В работе [3] сделан вывод, что маскирующий сигнал, учитывающий и повторяющий распределение спектральных составляющих маскируемого сигнала, наиболее эффективно его маскирует. В качестве маскирующего сигнала предложен сигнал хаотической импульсной последовательности (ХИП). Амплитуды спектральных составляющих видеосигнала и ХИП экспоненциально спадают с ростом частоты. Это характерно для всех сигналов импульсной природы (рисунок 1). Предлагаемое устройство генерации хаотической импульсной последовательности использует в качестве исходного сигнала белый шум с регулировкой распределения амплитуд составляющих в низкочастотной (НЧ), среднечастотной (СЧ) и высокочастотной (ВЧ) областях спектра сигнала [4].

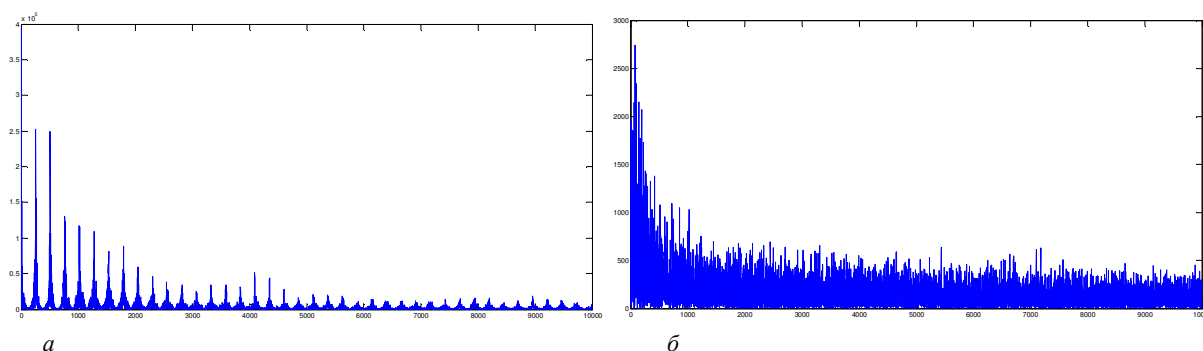


Рисунок 1. – Спектры сигналов:
a – видеосигнал; *б* – ХИП

Для исключения ухудшения отношения сигнал/шум (ОСШ) при маскировании видеосигнала в канале утечки информации (КУИ) хаотическая импульсная последовательность может быть сформирована синхронно с маскируемым видеокадром и оставаться статической при условии, что маскируемый видеокادر также является статическим.

Рассматриваемое устройство позволяет грубо настраивать распределение мощности спектра хаотической импульсной последовательности, поэтому маскирующий сигнал можно адаптировать для различных мониторов, отличающихся значениями строчной и кадровой частот. Для более точной настройки предлагается метод формирования маскирующего сигнала, использующий данные о маскируемом видеокадре и хаотической импульсной последовательности.

Описание метода. Суть предложенного метода в том, что на основе спектра маскируемого видеокадра и спектра ХИП строится спектр маскирующего сигнала. Метод учитывает точное распределение мощности спектра по частотам строк, содержащимся в видеосигнале, и на основе этого строится адаптивный маскирующий видеокадр при использовании ХИП. Это энергетически более выгодно, чем использование неадаптивного маскирующего кадра, поскольку позволяет избежать избыточности в распределении спектральных составляющих. Одновременно устраняется возможная недостаточность мощности маскирующего сигнала во всем диапазоне частот видеосигнала.

Использование сигнала хаотической импульсной последовательности предпочтительнее использования белого шума в качестве опорного сигнала, поскольку хаотическая импульсная последовательность изначально эффективнее маскирует видеосигнал, что позволяет не допускать утечки информации на этапе формирования адаптивного маскирующего сигнала.

Видеосигнал, формируемый видеокартой, является последовательностью цифровых данных, предназначенных для устройства вывода видеоинформации, которую можно получить программно или аппаратно из видеокарты. Полученный видеосигнал – дискретный набор данных s . Над сигналом s требуется произвести операцию дискретного преобразования Фурье (ДПФ):

$$S_k = \sum_{n=0}^{N-1} s_n e^{-j \frac{2\pi}{N} nk}, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (1)$$

где N – количество значений сигнала;
 k – индекс частоты.

В результате операции ДПФ формируется дискретный сигнал S , являющийся спектральным представлением видеосигнала. Особенность спектра видеосигнала заключается в сосредоточении спектральных составляющих около частот, кратных строчной частоте видеосигнала. При этом амплитуда строчных частот экспоненциально падает с ростом частоты.

Следующий шаг – получение огибающей спектра видеосигнала по формуле

$$d_i = \max M_i, \quad (2)$$

где d – набор отсчетов, соответствующих амплитудам строчных частот;

d_i – i -й отсчет, полученный разбиением спектра на равные диапазоны $M \subset S$, размерность которых соответствует строчной частоте видеосигнала, и выделением максимального элемента из множества.

Значения сигнала d содержит коэффициенты, отражающие распределение спектральной мощности маскируемого видеосигнала.

Для получения случайного сигнала h требуется источник ХИП, в качестве которого может выступать любое известное устройство, формирующее хаотическую импульсную последовательность. Над сигналом h проводится операция ДПФ согласно формуле (1), результатом которой является сигнал H .

Сигнал H разбивается на диапазоны M_i аналогично последовательности S . Затем подобным образом согласно формуле (2) выделяются коэффициенты g_i на основе огибающей спектра ХИП. Проводится проверка несоответствий массивов d и g с получением поправочных коэффициентов k .

$$k_i = d_i / g_i. \quad (3)$$

Поправочные коэффициенты k_i указывают на коэффициент усиления спектральных составляющих хаотической импульсной последовательности в i -м диапазоне. Каждый диапазон умножается на соответствующий ему коэффициент из последовательности k . Результат операции – сигнал F – модулированный спектр случайного сигнала.

$$F = \sum_i^L M_i k_i, \quad (4)$$

где L – количество диапазонов.

На данном этапе распределение составляющих модулированного спектра остается сходным с распределением составляющих спектра хаотической импульсной последовательности. Но при этом форма модулированного спектра скорректирована таким образом, при котором огибающая спектра маскирующего сигнала повторяет форму огибающей спектра маскируемого сигнала (рисунок 2).

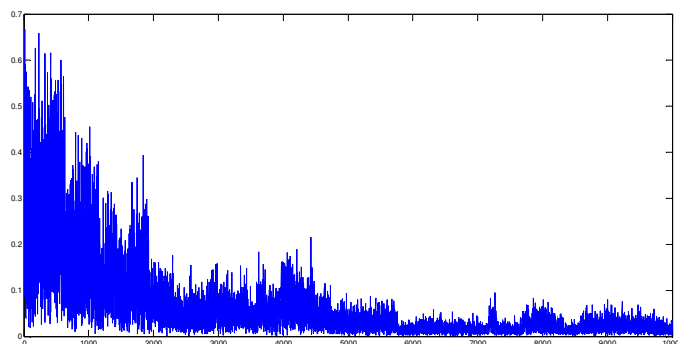


Рисунок 2. – Модулированный спектр маскирующего сигнала

Последовательность отсчетов F требуется подвергнуть операции обратного дискретного преобразования Фурье (ОДПФ) для получения конечного маскирующего сигнала f .

$$f_k = \sum_{n=0}^{N-1} F_n e^{j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad n = 0, \dots, N-1. \quad (5)$$

Полученный сигнал f синхронно излучается в канал утечки информации вместе с маскируемым сигналом s , где образуется их аддитивная смесь x , затрудняющая восстановление излученного маскируемого видеосигнала в случае его перехвата.

$$x_j = \sum f_j + s_j. \quad (6)$$

Эффективность маскирования видеосигнала сигналом ХИП исследуется в статьях [3, 5], в которых подтверждено преимущество маскирования видеосигнала хаотической импульсной последовательностью перед маскированием видеосигнала белым шумом.

Маскирующий сигнал f , полученный путем модуляции спектра белого шума сигналом огибающей спектра маскируемого видеосигнала, имеет тот же характер распределения спектральной мощности, что и ХИП: сосредоточение спектральной мощности в НЧ-диапазоне и экспоненциальный спад спектральной мощности в ВЧ-диапазоне.

Отличие маскирующего сигнала f и ХИП заключается в способе их формирования. Источником ХИП является случайный сигнал, а способ формирования – многоступенчатое квантование при ограниченной возможности настройки. Источником сигнала для формирования маскирующего сигнала f служат маскируемый и случайный сигналы, способ формирования – модуляция спектра случайного сигнала огибающей спектра маскируемого. Следствие использования маскируемого сигнала при формировании маскирующего сигнала – появление адаптивного свойства последнего. Свойство заключается в распределении спектральной мощности маскирующего сигнала, с определенной точностью повторяющей распределение спектральной мощности маскируемого сигнала, что приводит к устранению избыточности мощности маскирующего сигнала в НЧ-диапазоне и недостаточности в ВЧ-области. Это означает, что можно уменьшить коэффициент усиления маскирующего сигнала для его излучения без потери эффективности маскирования.

Для проверки эффективности предложенного метода предлагается сравнить ОСШ для замаскированного сигнала адаптивным маскирующим сигналом f и ХИП, равной средней мощности P_{cp}

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T s^2 dt. \quad (7)$$

Проверка производится на тестовых кадрах при коэффициенте усиления маскирующего сигнала $k = 50$ с различной частотой следования импульсов, образующих крупноплановые (рисунок 3, а) и мелкодетальные элементы (рисунок 3, б). Использование тестовых кадров обусловлено тем, что реальные изображения содержат оба типа элементов [6], но из-за сложной внутренней структуры не могут служить четким ориентиром в оценке степени защищенности изображения.

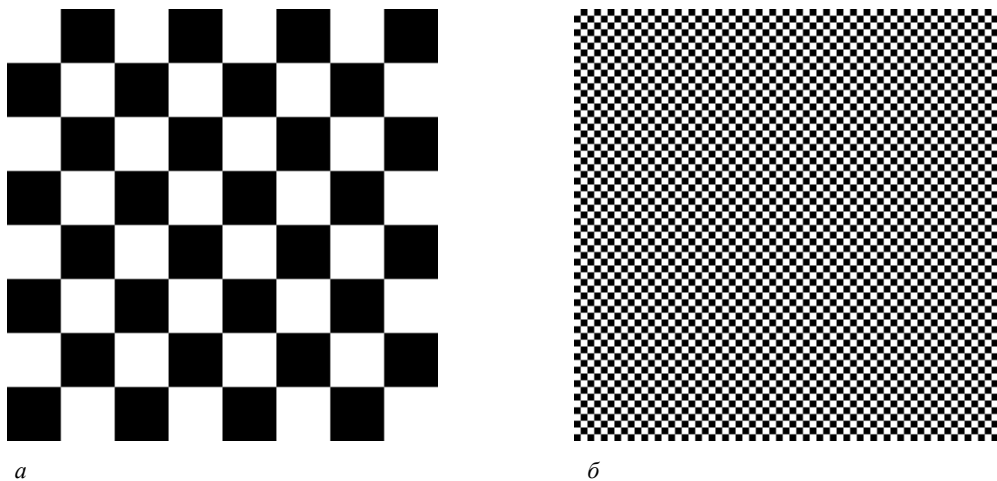


Рисунок 3. – Тестовые кадры:
a – с крупноплановыми объектами $f_{\text{имп}} = f_{\text{стр}} * 4$;
б – с мелкодетальными объектами $f_{\text{имп}} = f_{\text{стр}} * 32$

Результаты маскирования показаны на рисунках 4 и 5.

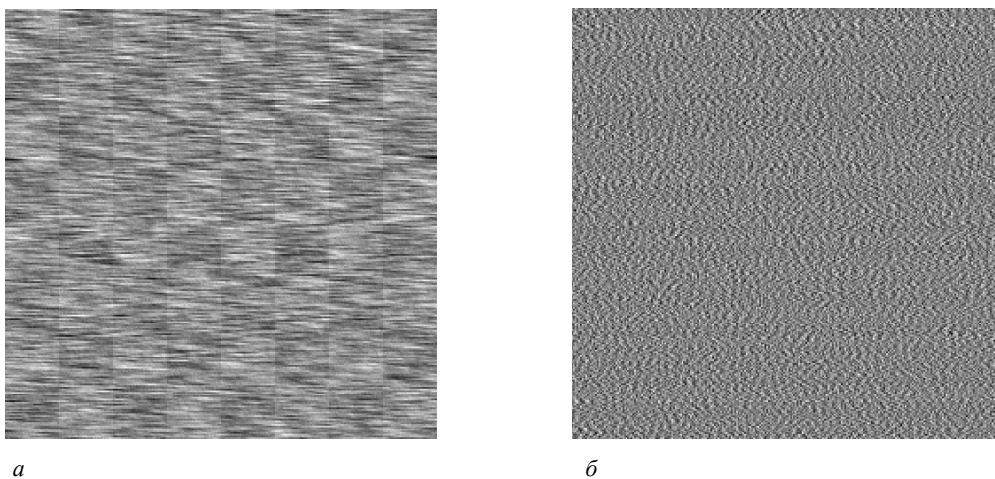


Рисунок 4. – Тестовые кадры, замаскированные адаптивной ХИП:
a – с крупноплановыми объектами; *б* – с мелкодетальными объектами

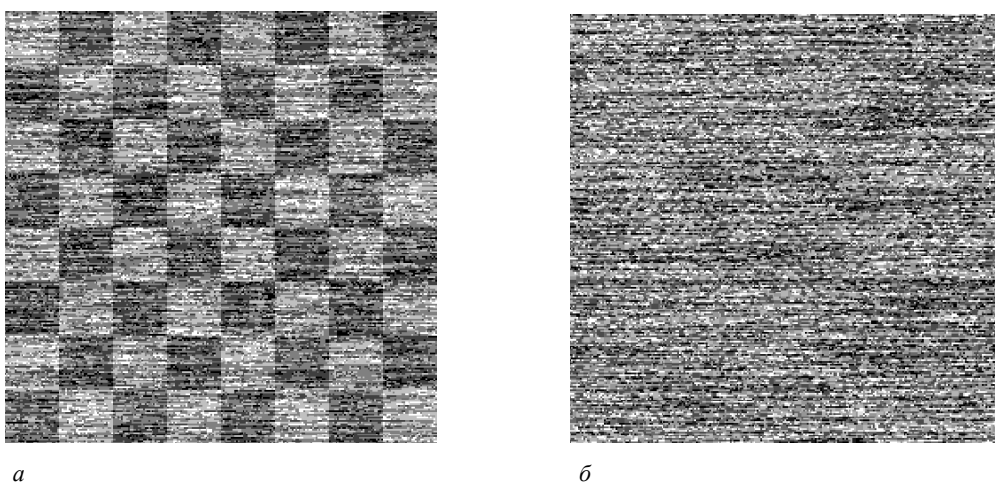


Рисунок 5. – Тестовые кадры, замаскированные ХИП:
a – с крупноплановыми объектами; *б* – с мелкодетальными объектами

Анализ рисунков 4, а и 5, а выявил, что адаптивный маскирующий сигнал f визуально лучше маскирует структуру крупных объектов, чем ХИП, создавая крупноплановые помехи, разрушающие контуры фигур.

Рисунки 4, б и 5, б свидетельствуют о том, что мелкодетальную информацию оба маскирующих сигнала маскируют в равной степени, поскольку мощности высокочастотных составляющих спектра ХИП достаточно для маскирования ВЧ-диапазона видеосигнала.

Структура маскирующего кадра f не является одинаковой для разных маскируемых кадров, образуя крупномасштабные помехи при наличии на изображении крупных объектов, в отличие от ХИП, и не образуя их при отсутствии больших объектов в видеокадре. Следовательно, адаптивный маскирующий сигнал f имеет преимущество перед ХИП, поскольку способен адаптивно подстраиваться под маскируемый сигнал путем коррекции собственного спектра.

Вывод. Алгоритм реализован на языке программирования MatLab. В среде MatLab было произведено сравнение маскирования тестовых сигналов, получены графики и численные значения.

Предложен метод маскирования видеосигнала маскирующим адаптивным видеокадром, построенным на основе спектра маскируемого сигнала с применением хаотической импульсной последовательности. Проведено сравнение адаптивного маскирующего кадра с хаотической импульсной последовательностью применительно к маскированию тестовых видеокадров. Результат сравнения – качественная оценка, визуально более сильное разрушение крупноплановых объектов на тестовых кадрах адаптивной ХИП. На основе полученных данных сделано заключение, что адаптивный маскирующий сигнал имеет ряд преимуществ перед белым шумом и ХИП – свойство адаптивности и обеспечение более высокого уровня защищенности видеосигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. van Eck, W. Electromagnetic Radiation from Video Display Units: An Eaves-dropping Risk? / Wim van Eck // Computers & Security. – 1985. – Vol. 4. – P. 269 – 286.
2. Об утверждении санитарных норм и правил «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» [Электронный ресурс] : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 05.03.2015 г. № 23 // Светлогорский зональный ЦГЭ. – Режим доступа: http://www.svetlge.by/wp-content/uploads/2015/01/post_mz-rb_23-05.03.2015.pdf.
3. Барков, А.В. Экспериментальное исследование метода адаптивного маскирования видеосигнала от утечки по техническим каналам / А.В. Барков, В.К. Железняк // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2014. – № 4. – С. 18–23.
4. Генератор маскирующих сигналов : пат. 18525 Респ. Беларусь : МПК H03K 3/84, H04K 3/00 (2012) / В. К. Железняк, Д. С. Рябенко ; дата публ.: 30.08.13.
5. Барков, А.В. Формирование маскирующей помехи для защиты видеосигнала от утечки по техническим каналам / А.В. Барков, В.К. Железняк // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2012. – № 12. – С. 40–45.
6. Адамовский, Е.Р. Тестовые кадры для оценки защищенности цветных и черно-белых видеоизображений в технических каналах утечки информации / Е.Р. Адамовский, В.К. Железняк // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2018. – № 4. – С. 79.

Поступила 20.03.2019

METHOD OF ADAPTIVE VIDEO FRAME MASKING USING MASKED SIGNAL

V. ZHELEZNYAK, E. ADAMOVSKIY

The method of forming an adaptive masking video frame based on an arbitrary masked image. Justification of the advantages of the method due to the property of adaptability. Analysis of the method in comparison with existing methods of video masking.

Keywords: *masking signal, masked signal, video signal, masking method, chaotic pulse sequence, technical leak channels.*