

А. С. Васюра, к. т. н., проф.; Е. А. Золотавкин

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СКРЫТОГО СОДЕРЖАНИЯ В СЖАТЫХ ФРАКТАЛЬНЫМ АЛГОРИТМОМ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Предложен критерий для определения присутствия скрытых данных в фрактальном коде изображений. Использован подход, который заключается в оценивании стеганографической угрозы каждой отдельной записи фрактального кода. Данная оценка базируется на особенностях методов фрактального сжатия. Количество положительно оцененных блоков используется для дальнейшего общего вывода о возможности существования встроенных данных. Эффективность разработанного детектора установлена экспериментально и сравнена с существующими.

Ключевые слова: *стеганография, скрытие информации, фрактальное сжатие изображений, детектирование, стегоаналитический критерий.*

Введение

В области защиты информации стеганография изображений занимает уникальную нишу и подтверждает свою эффективность стремительными темпами развития. Это частично объясняется популярностью криптографических средств защиты и необходимостью тайного хранения ключа. Незаметная передача конфиденциальных сообщений тоже составляет значительную часть практического арсенала. Широкое применение стеганография изображений нашла в области защиты авторских прав, что привело к обособлению направления разработки и внедрения цифровых водяных знаков (ЦВЗ).

Каждая из практических задач требует конкретного подхода к ее решению, однако в большинстве стеганографическая эффективность обеспечивается объединением качеств секретности и робастности. При этом уровень указанных качеств необходимо соотносить с объемом встроенных данных [1].

Подходы обеспечения необходимого уровня стойкости описаны в литературе [2]. В противовес робастности, вопрос секретности является неоднозначным, что объясняется большим количеством демаскирующих признаков. Это объясняет сложность разработки абсолютно адекватного детектора. Однако относительный показатель верного детектирования дает возможность оценить эффективность стегоаналитического критерия. Противостояние выявлению при условии повышения пропускной способности тайного канала предусматривает владение критерием лучшим чем у перехватчика.

Несмотря на многообразие стегодетекторов, их общей структурной особенностью является бинарный классификатор, который использует определенные чувствительные к наличию тайного содержимого характеристики. Последовательность характеристик каждого изображения может быть представлена вектором, как в роботах [3, 4], где классификация выполнялась с помощью метода опорных векторов (SVM). Однако с целью улучшения статистики детектирования, обучение классификатора должно происходить на выборке, которая представляет два подмножества изображений: первая образованная оригинальными изображениями; вторая – стегоизображениями. Причем эффективность определяется степенью соответствия параметров встраивания в тренировочной выборке действительным параметрам тестовой стегосистемы. Таким образом, качество стегоанализа снижается при неизвестных параметрах реальной (тестовой) стегосистемы или при условии их изменения в процессе встраивания.

Второй особенностью стегокритерия является состав характеристик, которые должны оказывать содействие разделению стегоизображений от оригинальных изображений. Одним из путей достижения этого можно назвать учет присущих определенному формату изображений свойств, которые обусловлены алгоритмом обработки.

Широкое распространение алгоритмов сжатия обусловлено значительными достижениями в области обработки изображений. Это объясняет тот факт, что подавляющее большинство современных форматов представления изображений обеспечивают сжатие с потерями. Файлы форматов сжатых изображений редко подвергаются дополнительной обработке и сжатию, поэтому обеспечивают большую робастность при встраивании данных. С другой стороны для большинства алгоритмов сжатия с потерями тяжело оценить измененные особенности оригинального изображения, что способствует скрытию.

Фрактальные алгоритмы обеспечивают удачное соотношение между коэффициентом сжатия и качеством и владеют уникальным свойством детализации при произвольном масштабировании [5, 6]. Развитие фрактального сжатия обеспечивает популярность форматов на его основе (как, например, STING), что подтверждает целесообразность их стеганографического использования.

Принцип фрактального сжатия изображений

Учет особенностей алгоритма обработки изображений важен для определения характеристик и дальнейшего детектирования тайного содержания, поэтому достижение поставленной цели требует рассмотрения принципа фрактального сжатия изображений.

Фрактальная архивация основывается на представлении изображения в компактной форме с помощью коэффициентов системы итерированных функций (IFS). IFS – набор трехмерных аффинных преобразований, которые переводят одно изображение в другое. Преобразованию подвергаются точки в трехмерном пространстве (двухмерное пространство плоскостного изображения и яркость).

Пусть парой (M, d) задается метрическое пространство цифровых изображений, где d – данная метрическая мера. Для сжатия изображения $I \in M$ необходимо найти отображение $\tau : M \rightarrow M$, которое удовлетворяет следующие условия:

$$\exists 0 < z < 1, \quad \forall \mu, \nu \in M, \quad d(\tau(\mu), \tau(\nu)) \leq z \cdot d(\mu, \nu), \quad (1)$$

$$d(I, \tau(I)) \cong 0, \quad (2)$$

где μ и ν являются разными фрагментами изображения I .

Тогда при условии равномерной разбивки

$$\forall \mu_i \in I, i = \overline{1, n}, \quad I = \bigcup_i \mu_i, \quad \mu_i \cap \mu_j = \emptyset, i \neq j \quad (3)$$

и существовании совокупности отображений $T = \{\tau_i\}$ таких, что $d(\mu_i, \tau_i(\nu_i)) \leq \varepsilon$, справедливо выражение

$$d(I, F^m(T)) \leq \frac{\varepsilon}{1-z}, \quad m \rightarrow \infty, \quad (4)$$

где $F^l(T) = \bigcup_i (\mu_i^l \leftarrow \tau_i(\nu_i^{l-1}))$.

Отображение τ_i является аффинным преобразованием и

$$\tau_i = N_i \circ S_i \circ G_i, \quad (5)$$

где G – оператор геометрической части, которая обеспечивает сжатие с коэффициентом z , повороты на определенные углы и симметричные отображения фрагментов изображения; S – оператор переноса, который реализует сдвиг каждой элементарной части фрагмента изображения в двухмерном пространстве; N – оператор интенсивности фрагмента

изображения, которое изменяет значение интенсивности e – элементарной части (пикселя) следующим образом: $N_i(e) = s_i \cdot e + o_i$, где s – контрастность, o – яркость [5, 6].

На практике количество итераций m ограничивается небольшим числом, которое является достаточным для обеспечения визуального подобия при удовлетворительном ε . Метрическое пространство (M, d) определяется способом разбивки на ранговые и доменные блоки μ и ν соответственно. В большинстве случаев изображение I имеет прямоугольную форму, ранговые и доменные блоки являются квадратами с размерами $k \times k$ и $2k \times 2k$ пикселей, $z = 0,5$ и

$$d(\mu_l, \mu_m) = \sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (e_{i,j}^{\mu_l} - e_{i,j}^{\mu_m})^2}. \quad (6)$$

Таким образом, целью фрактального алгоритма сжатия изображений является поиск совокупности преобразований T для некоторого изображения I при достаточно малом ε . Важным ограничением этого процесса является условие $\text{inf}(T) \ll \text{inf}(I)$, где функция inf определяет количество информации, необходимой для описания аргумента. Однако на практике интерпретация (I, ε) в T не является однозначной. Возможность манипулирования T позволяет применить стеганографическую технику, которая использует многообразие взаимозаменяемых фрагментов реальных изображений.

Особенности разбивки изображения на доменные и ранговые блоки могут существенно влиять на указанное многообразие вариантов сопоставлений. Наиболее распространенной является схема quadro-дерева, изображенная на рис. 1. Такая разбивка упрощает поиск соответствий между фрагментами и обеспечивает высокое многообразие. Если не найден доменный блок ν_i , который вследствие отображения τ_i соответствует ранговому μ_i в пределах ε , ранговый блок делится на четыре меньших блока. С точки зрения сжатия такое измельчение ранговых блоков не является эффективным по сравнению, например, с HV-делением [7]. Однако для стеганографического использования это оборачивается преимуществом: большее количество ранговых блоков позволяет скрыть большее количество данных.

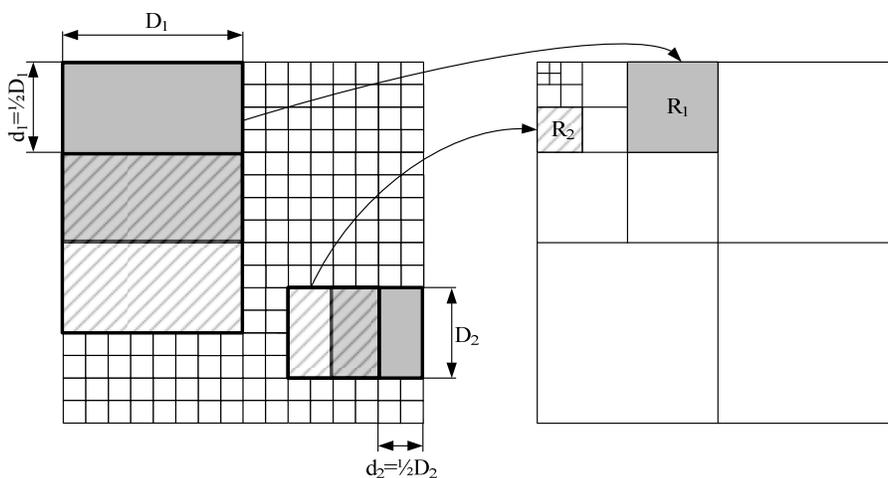


Рис. 1. Иллюстрация фрактального сжатия по схеме quadro-дерева

Универсальность квадратной формы блоков обеспечивает многообразие их интерпретаций путем установления разных параметров отображений. Это позволяет уменьшить количество доменных блоков (увеличение d_1, d_2) за счет широкого набора

параметров, что оправдано при сжатии. Очевидно, стеганографическое применение ограничивается данной особенностью указанной схемы разбивки.

Следующим важным моментом практической реализации модели фрактального сжатия является способ организации поиска соответствий между ранговыми и доменными блоками. Недостатком фрактального сжатия является значительная временная сложность при полном переборе всех вариантов сопоставлений блоков [8]. Для решения этой проблемы предпринимают следующие действия: 1) вместо поиска доменного блока, который наилучшим образом отображается в определенный ранговый, удовлетворяются первым найденным в пределах ε ; 2) используют разнообразные характеристики блоков с целью классификации, которая позволяет значительно упростить поиск. Именно первый пункт определяет основные требования секретности, поскольку второстепенность избранного для сопоставления доменного блока не может согласовываться ни с одной модификацией метода фрактального сжатия изображений. Пренебрежение этим свойством приведет к возникновению демаскирующего признака.

Некоторые модификации методов фрактального сжатия отличаются от описанного базового подхода значением коэффициента масштабирования z , набором аффинных преобразований и оператором N [7]. Однако даже опосредствованное влияние таких изменений на особенности встраивания данных является незначительным, поскольку касается лишь отображения блоков и не связано с порядком их выбора и количеством.

Метод встраивания данных на основе фрактального алгоритма

В литературе представлено широкое многообразие методов стеганографического использования принципов фрактального сжатия [9 – 11], однако наибольшую робастность обеспечивают методы [10, 11], поскольку манипулируют непосредственно кодом сжатого изображения. Поэтому повышение секретности встраивания данных подходов (путем разработки эффективного стегодетектора) обеспечит высокий уровень защиты.

Как было указано, многообразие взаимозаменяемых фрагментов изображения позволяет кодировать тайные данные. Для этого в каждом случае сопоставления с ранговым блоком все домены-кандидаты необходимо описать: определить множество кандидатов, соотнести с каждым элементом множества соответствующий числовой индекс.

В данном случае справедливо заметить, что потери тайной информации обусловлены ошибками несоответствия индексов при встраивании и восстановлении. С другой стороны, повышение стеганографической эффективности также может происходить путем увеличения количества индексов.

Максимальное количество разных индексов равно количеству элементов в множестве [12, 13]. При таком способе индексации множество кандидатов необходимо определять не только при встраивании, но и при восстановлении данных. Сложность восстановления индексов, связанная с отсутствием оригинального изображения, может привести к вышеупомянутому несоответствию и потере информации.

В случае универсального способа определения индексов, их количество одинаково для всех множеств, поэтому в пределах одного множества они могут повторяться. Схематическая иллюстрация двух описанных способов индексации приведена на рис. 2. По всей видимости, кроме повторений индексов, отсутствие элементов для их интерпретации при встраивании (например, фрагмент с шахматной текстурой) является еще одним недостатком универсальной индексации.

Реализация способов как универсальной, так и локальной индексации может отличаться для разных стегометодов, однако принципиально меньшую вычислительную сложность и высшую надежность встраивания обеспечивает универсальный способ.

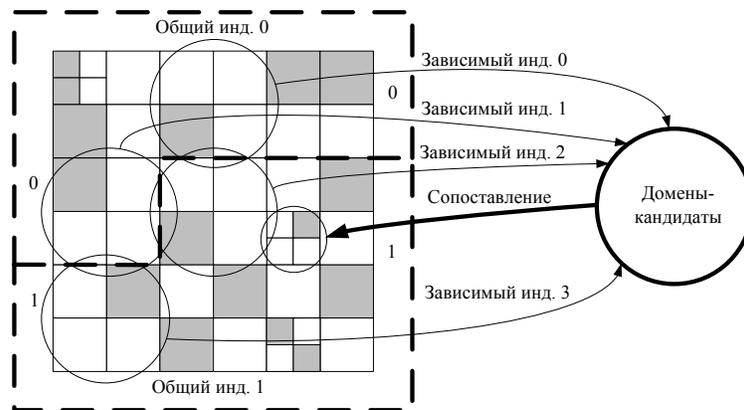


Рис. 2. Способы индексации доменных блоков при встраивании данных

В ходе встраивания с целью обеспечения максимальной пропускной способности при условии секретности и использования универсальной индексации необходимо определить следующие особенности: 1) количество индексов; 2) в случае нескольких элементов с необходимым индексом в пределах одного множества доменов-кандидатов, необходимо оптимизировать выбор одного из них; 3) необходимо определить количество стеганографических сопоставлений (часть использованных ранговых блоков). Таким образом, при решении поставленной задачи условие секретности является основным ограничением, которое необходимо формализовать с помощью критерия.

Стегоаналитический критерий

Вывод о скрытом содержимом предлагается выносить на основе промежуточной характеристики изображений, которая представляет количество «подозрительных» ранговых блоков, которыми считаются те, что получены вопреки фрактальному алгоритму сжатия. Решение о «подозрительности» выносится на основе классификации условий (характеристик) сопоставления доменного блока с данным ранговым.

Недостатком использования существующих критериев на основе SVM [3, 4] для детектирования описанной стегосистемы является учет лишь локальных межпиксельных характеристик. Поэтому для определения «подозрительных» блоков предлагается набор характеристик, который касается только особенностей фрактального сжатия. Классификацию на «подозрительные» и «неподозрительные» блоки решено проводить также с помощью SVM, эффективность которого является довольно высокой.

Как было указано, обоснованный вывод о согласованности сопоставления конкретного доменного и рангового блоков с фрактальным алгоритмом можно сделать лишь на основе всего множества блоков. Это объясняется требованием первоочередности избранного доменного блока, а также необходимостью сравнения меры локального соответствия окружению рангового блока с другими вариантами сопоставлений.

В работе [14] на основе свойств самоподобия фрагментов изображения разработан критерий детектирования искаженных областей. Для описания характерных областей изображения использовались подходы кластеризации и понижения размерности представления. Все фрагменты, которые не вошли ни в один кластер, считались искаженными.

С другой стороны, проверка первоочередности доменного блока требует лишь установления возможностей сопоставления доменов, которые ему предшествуют. Наиболее полное представление об условиях «конкуренции» доменов-кандидатов с избранным для сопоставления блоком также можно получить лишь на основе взаимного расположения их точек-характеристик.

Таким образом, решения о локальном соответствии и первоочередности каждого избранного доменного блока можно принимать на основе положения точек-характеристик фрагментов изображения в пространстве признаков. Однако даже для небольшого по размерам блока 8×8 пикселей общее количество признаков равно 64, что делает описание взаимного расположения блоков (при большом их количестве) слишком громоздким для классификации с помощью SVM.

Для понижения размерности характеристического вектора $\bar{q}_{m,i}$, который описывает особенности сопоставления доменного блока v_m в позицию рангового μ_i , предлагается формировать его из скалярных значений $q_{m,i}^j$, которые являются расстояниями между избранным доменным блоком и другими фрагментами. При таком упрощении не учитываются взаимные расстояния между остальными фрагментами, кроме того, что рассматривается. Но при увеличении количества фрагментов эффективность характеристики возрастает. Этому оказывает содействие также дополнительный набор параметров, которые представляют собой меру относительного межпиксельного несоответствия по периметру блоков.

Степень сходства избранного доменного блока v_m с оригинальным ранговым μ_i , который он заменил, описывается g скалярными значениями $q_{m,i}^j, 1 \leq j \leq g$ – расстояниями между ним и g наиболее подобными блоками среди всего изображения. Для подтверждения того, что выбор данного блока носил первоочередный характер, используется h скалярных значений $q_{m,i}^j, g+1 \leq j \leq g+h$ – расстояний между ним и h наиболее подобными доменными блоками, которые предшествуют избранному.

С целью адекватного представления степени сходства с оригинальным ранговым блоком μ_i , избранный доменный (трансформированный) блок $\tau_{m,i}(v_m)$ предлагается рассматривать вместе с окружением в виде рамки f_i вокруг него (рис. 3) [15]. Тогда $q_{m,i}^j = \alpha_1 d(f_i, \hat{f}_i^j) + \alpha_2 d(\tau_{m,i}(v_m), \hat{\mu}_i^j), i = \overline{1, n}, 1 \leq j \leq g$, где $\alpha_1 \geq 1, \alpha_2 \leq 1$ – константы, \hat{f}_i^j и $\hat{\mu}_i^j$ – фрагменты, которые по форме повторяют f_i и μ_i , является составляющими блока изображения $\hat{b}_i^j = \hat{f}_i^j \circ \hat{\mu}_i^j$, который удовлетворяет условие

$$\begin{cases} \min_{\hat{b}_i^j} q_{m,i}^j, j = 1 \\ \min_{\hat{b}_i^j \notin \bigcup_{k=1}^{j-1} \hat{b}_i^k} q_{m,i}^j, j > 1 \end{cases} \quad (7)$$

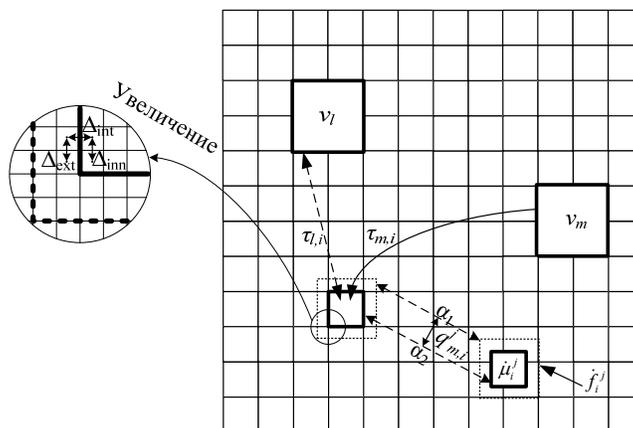


Рис. 3. Определение характеристик сопоставления

Использование рамки вокруг рангового блока объясняется тем, что встраивание путем изменения соответствий между ранговыми и доменными блоками не охватывает все блоки изображения. Поскольку пиксели рамки принадлежат восьми разным блокам, она более стойкая к искажениям встраивания. Это свойство объясняет выбор коэффициентов $\alpha_1 \geq \alpha_2$.

Как видно на рис. 3, место положения b_i^j не ограничивается лишь стандартной сеткой. С другой стороны, при определении $q_{m,i}^j$ не предполагается применение операторов N и G . Таким образом, для оценки степени сходства между избранным доменным и оригинальным ранговым блоками используются лишь естественные закономерности изображения [14].

Характеристикой, определяющей качество первоочередности, является последовательность элементов $q_{m,i}^j = d(\tau_{m,i}(v_m), \tau_{l,i}(v_l)), l < m, g + 1 \leq j \leq g + h$, где индекс l не должен повторяться при разных j и $q_{m,i}^j \rightarrow \min$. Обоснование данной характеристики базируется на следующем свойстве: чем больше доменных блоков, которые расположены достаточно близко к избранному, тем выше вероятность его второстепенности.

С целью дополнения приведенных выше двух типов характеристик предлагается рассмотреть особенности изменения интенсивности пикселей по периметру блоков. При сравнении разности по модулю между пикселями, как показано на рис. 3, может выясниться, что одна из трех пар пикселей обеспечивает большее значение этого параметра, чем другие две, тогда переход в этом направлении обозначается как резкий (верхний индекс shp). При условии нарушения соответствий между доменным и ранговым блоками, это подтверждается большим количеством резких переходов между соседними блоками. Таким образом, количество резких переходов Δ_{int}^{shp} целесообразно использовать для представления согласованности блока с его окружением. Применение данной характеристики к блокам-претендентам $v_l, l < m$ на место рангового μ_i разрешит уточнить степень локальной согласованности с данной областью изображения и повысит качество вывода о первоочередности. Предполагается учитывать данную характеристику также при выяснении локальной согласованности доменного блока v_m .

Таким образом, характеристический вектор $\bar{q}_{m,i}^j$, который описывает особенности сопоставления $\tau_{m,i}(v_m) \rightarrow \mu_i$ с целью дальнейшей классификации с помощью SVM, можно структурно представить следующим образом:

$$\left\{ q_{m,i}^j = \alpha_1 d(f_i, f_i^j) + \alpha_2 d(\tau_{m,i}(v_m), \mu_i^j), 1 \leq j \leq g \right\} \cup \left\{ \begin{array}{l} q_{m,i}^j = d(\tau_{m,i}(v_m), \tau_{l,i}(v_l)) \\ q_{m,i}^{j+h} = \Delta_{int}^{shp}[\tau_{l,i}(v_l)] \end{array} \middle| l < m, g + 1 \leq j \leq g + h \right\} \cup \left\{ q_{m,i}^{g+2h+1} = \Delta_{int}^{shp}(\tau_{m,i}(v_m)) \right\}. \quad (8)$$

Преимуществами такой характеристики является высокая чувствительность к нарушениям порядка действий, которая предусмотрена фрактальным сжатием изображений. Вычислительная сложность обучения и классификации при использовании SVM также может быть значительно уменьшена по сравнению с [3, 4], поскольку длина вектора $\bar{q}_{m,i}^j$ составляет $g + 2h + 1$, а при условии $g = h = 10$ обеспечивается необходимая чувствительность для детектирования тайного содержимого (при стеганографическом использовании 50 % ранговых блоков).

Эксперимент

Основной задачей эксперимента является определение критического количества Q_S «подозрительных» блоков в изображении, превышение которой позволяет сделать вывод о выполненном встраивании. Для этого необходимо провести тренировку SVM с использованием описанного набора признаков, которые объединены в характеристический вектор. При тренировке должны использоваться разнообразные изображения с тайными данными, которые встроены по описанной стеганографической схеме, а также изображение без тайного содержимого. На результат тестирования не будет влиять количество встроженных в стегоизображение данных, поскольку каждый блок анализируется отдельно.

Цель оптимизации порогового значения Q_S – минимизация энтропии детектирования. При этом задача детектирования ограничивается заведомо определенной схемой встраивания, которое предусматривает неизменный и известный объем тайных данных в стегоизображении. Сравнительный анализ результатов детектирования смешанной совокупности изображений на основе критериев [3, 4] и предложенного критерия позволяет оценить его эффективность.

С целью классификации на «подозрительные» и «неподозрительные» блоки для тренировки SVM использовалось 200 изображений в градациях серого размером 256×256 . Количество встроженных в изображение данных изменялось в диапазоне от 300 до 1000 бит, но общее количество, согласованных с фрактальным алгоритмом, и количество, стеганографически измененных ранговых блоков было равным. При формировании характеристического вектора $g = h = 10$, таким образом, общая длина его составила 31, $\alpha_1 = 1.2$, $\alpha_2 = 0.8$, толщина рамки 3 пикселя. Эффективность классификации, установленная вследствие тестирования, составила 70.3%.

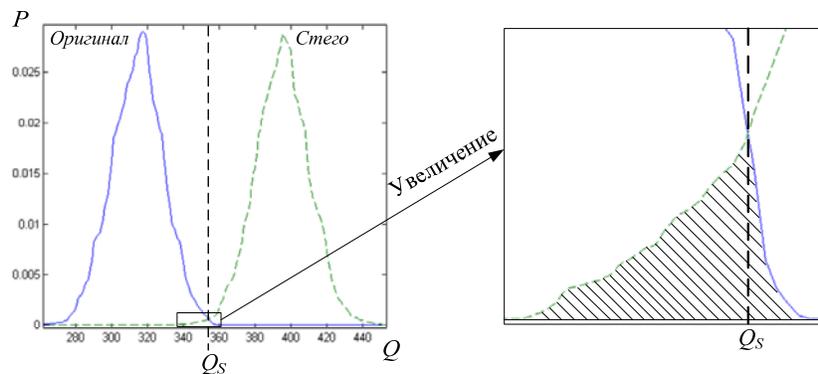


Рис. 4. Результат детектирования тайного содержимого

При определении Q_S для детектирования стегоизображения с объемом тайных данных равным 400 бит использовались две зависимости, графики которых изображены на рис. 4. Первая из них отображает количество оригинальных изображений с соответствующим количеством «подозрительных» блоков. Вторая – количество стегоизображений с определенным числом «подозрительных» блоков. Оптимальное значение Q_S должно обеспечивать минимум заштрихованной площади, которая соответствует точке пересечения графиков. Для данных условий встраивания установлено $Q_S = 354$. То есть при количестве «подозрительных» блоков, превышающем Q_S , изображение считается стеганографически значимым. Результирующая вероятность верного детектирования на основе предложенного стегоаналитического критерия составила 97.1%.

Для проверки эффективности детектирования с помощью критериев [3, 4] обучение SVM для каждого из них происходило на тренировочной совокупности, половину которой составляли стегоизображения с объемом тайных данных 400 бит. Вероятность верного детектирования составила 56.7% и 52.5% для [3] и [4] соответственно, что подтверждает значительное преимущество предложенного способа детектирования тайного содержимого в фрактальном коде изображений над существующими критериями.

Выводы

В работе предложен стегоаналитический критерий, предназначенный для детектирования изображений со скрытым содержимым, которое встроено на этапе сжатия фрактальным алгоритмом. С целью синтеза эффективного критерия были определены особенности фрактального сжатия, которые изменяются вследствие встраивания данных. На основе данных особенностей сформированы характеристики отдельных блоков изображения с целью дальнейшей бинарной классификации с помощью SVM. Таким образом, количество «подозрительных» блоков, которые получены вследствие классификации, используется для установления наличия тайного содержимого путем сравнения с критическим порогом Q_S .

Такой подход разрешает значительно повысить эффективность детектирования стегоизображений, в которые были встроены данные в следствии изменения последовательностей действий, что предусмотрено фрактальным алгоритмом сжатия. Благодаря использованию предложенных характеристик, точность классификации на «подозрительные» и «неподозрительные» блоки составила 70.3%, что позволяет детектировать стегоизображения с объемом тайных данных всего 400 бит с точностью 97.1%.

С другой стороны, основным недостатком является необходимость характеристики и классификации каждого блока изображения. Однако небольшая размерность характеристического вектора и возможность параллельной организации однотипных вычислений позволяют в дальнейшем повысить эффективность решения проблемы.

В дальнейших исследованиях планируется рассмотреть адаптивные подходы встраивания данных в фрактальный код изображений и повысить их эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Johnson, N., Duric, Z., Jajodia, S. Information Hiding: Steganography and Watermarking - Attacks and Countermeasures. – New York: Kluwer Academic Pub., 2000. – 200 p.
2. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. – СПб.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
3. Zou D., Shi Y., Su W., Xuan G. Steganalysis based on Markov Model of Thresholded Prediction-Error Image // IEEE ICME Conference Record, 2006. – P. 1365 – 1368.
4. Chen, X., Wang, Y., Tan, T., Guo, L. Blind Image Steganalysis Based on Statistical Analysis of Empirical Matrix // IEEE ICPR'06, 2006. – № 3. – P. 1107 – 1110.
5. Barnsley, M., Hard, L. Fractal Image Compression. – Wellesley: A.K. Peters, Ltd., 1993. – 256 p.
6. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. – М.: Триумф, 2003. – 320 с.
7. Zhao, E., Liu, D. Fractal Image Compression Methods: A Review // ICITA'05, 2005. – P. 756 – 759.
8. Polvere, M., Nappi, M. Speed-up in Fractal Image Coding: Comparison of Methods // IEEE TIP, 2000. – № 6. – P. 1002 – 1009.
9. Bas, P., Chassery, J. M., Davoine, F. Using the Fractal Code to Watermark Images // Proc ICIP'98, 1998. – № 1. P. 469 – 473.
10. Li, C., Wang, S. Digital Watermarking Using Fractal Image Coding // IEICE Trans. Fund., 2000. – № 6. – P. 1286 – 1288.
11. Liao, P., Chen, C., Chen, C., Pan, J. Interlacing Domain Partition for Fractal Watermarking // ПН-МSP'06, 2006. – P. 441 – 444.
12. Васюра А.С., Золотавкін Є.А., Лукічов В.В. Адаптивний метод вбудовування даних у фрактальний код зображень // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, 2006. – № 2. – С. 105 – 110.
13. Васюра А.С., Золотавкін Є.А. Визначення та забезпечення стійкості методу таємної передачі даних на основі фрактального стиснення зображення // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2007. – № 2. – С. 133 – 138.

14. Amano, T. Correlation Based Image Defect Detection // IEEE ICPR'06, 2006. – P. 163 – 166.
15. Liang, X., Chenrong, H., Haijun, L., Huizhong, W. Concealment of Damaged Block Coded Images Using Intelligent Two-Step Best Neighborhood Matching Algorithm // Proc CGIV'05, 2005. – P. 38 – 42.

Васюра Анатолий Степанович – директор института, профессор кафедры автоматки и информационно-измерительной техники;

Золотавкин Евгений Анатоліевич – аспирант кафедры автоматки и информационно-измерительной техники.

Винницкий национальный технический университет