

В. Я. Колючкин, М. В. Колесников,
В. Ю. Колесников, Г. М. Мосягин

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Проведен анализ оптических методов стеганографической защиты изображений путем нанесения цифровых водяных знаков. Предложены и исследованы варианты реализации оптического канала нанесения стеганографической защиты, основанные на применении когерентных оптических корреляторов.

E-mail: koluch@r12.bmstu.ru

Ключевые слова: оптическая обработка информации, стеганография, цифровой водяной знак.

Интерес к исследованиям в области цифровых водяных знаков (ЦВЗ) и стеганографии вызван тем, что во многих случаях для сохранения информации в тайне оказывается более эффективным скрывать факт ее наличия, чем просто шифровать. Под ЦВЗ понимают технологию встраивания в основной цифровой сигнал (контейнер), содержащий, например, изображение или видеозапись, специальной информации, которую нельзя удалить без разрушения основного сигнала. Цифровые водяные знаки могут использоваться для защиты авторских прав, встраивания аннотационных или идентификационных данных.

В зависимости от решаемых задач ЦВЗ могут быть видимыми или скрытыми. Наибольшее применение находят скрытые ЦВЗ. В этом случае ЦВЗ являются средством стеганографии — науки о скрытой передаче или скрытом хранении информации [1]. Основная задача стеганографии — разработка методов встраивания специальных сообщений в контейнер так, чтобы наличие этих сообщений не было заметно. Требование незаметности встроенной информации может быть сформулировано двумя способами. Во-первых, может предъявляться требование незаметности (скрытости) при несанкционированном анализе изображения третьей стороной в целях обнаружения скрытого канала связи — несанкционированном стеганоанализе. Во-вторых, может предъявляться требование незаметности ЦВЗ при наблюдении человеком-оператором содержимого контейнера.

Средства сокрытия данных можно разделить на программные и аппаратные, каждая имеют свои преимущества и недостатки. Программные средства отличаются гибкостью, т.е. возможностью реализации сложных алгоритмов защиты. Вычислительная сложность, а значит, и эффективность алгоритмов, реализуемых программными средствами, ограничивается только временными требованиями работы систем

встраивания или извлечения ЦВЗ. В последние годы были разработаны многочисленные программные алгоритмы сокрытия данных [1–3]. Однако интерес к реализации стеганографической защиты аппаратными средствами появился совсем недавно, когда возникла необходимость в подобной защите видеоинформации в реальном масштабе времени. Эта задача может быть решена только специализированными аппаратными средствами, имеющими бóльшую скорость обработки данных, чем универсальные программные средства. Судя по публикациям [4, 5], исследования в этой области в основном сводятся к адаптации уже существующих программных алгоритмов, разработанных для защиты изображений, к условиям аппаратной защиты видеоинформации.

Аппаратная реализация стеганографической защиты обычно осуществляется в электронном канале с использованием программируемых логических интегральных схем или специализированных интегральных схем, имеющих меньшее энергопотребление, меньшие размеры и более высокую надежность, чем средства, реализующие программные алгоритмы.

Альтернативой аппаратным средствам стеганографической защиты, осуществляющим встраивание информации в электронный канал, могут стать средства, позволяющие встраивать защитную информацию в оптический канал параллельно с регистрацией основного изображения. Поэтому разработка оптических методов стеганографической защиты изображений является актуальной задачей. Особенность оптических методов заключается в том, что встраиваемое сообщение задается в параметрах оптического сигнала (амплитуде, фазе, длине волны излучения). Информация может встраиваться в пространственную или частотную область изображения. При этом имеется возможность реализации как программными, так и аппаратными средствами процессов встраивания и извлечения защитной информации.

В настоящей работе приведены результаты теоретических исследований и математического моделирования трех вариантов реализации оптического канала нанесения стеганографической защиты цифровых изображений.

Процесс встраивания сообщения в оптический канал заключается в суммировании изображения $C(x', y')$, формируемого в основном оптическом канале системы регистрации, например, объективом видеокамеры, с оптическим сигналом $W(x', y')$ (стеганограммой), в параметрах которого содержится защитная информация (рис. 1). Зарегистрированное защищенное изображение (стега объект) $S(x', y')$ определяется формулой

$$S(x', y') = C(x', y') + W(x', y'). \quad (1)$$

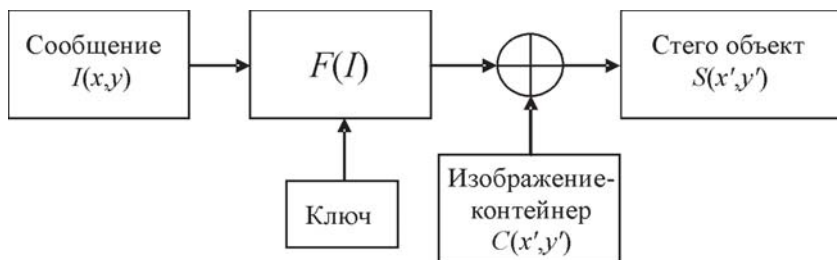


Рис. 1. Схема встраивания сообщения в изображение

Функция $W(x', y')$ описывает изображение, которое представляет собой образ закодированного сообщения $I(x, y)$, т.е.

$$W = F(I, \bar{p}),$$

где F — оператор кодирования, \bar{p} — вектор параметров кодирования, компонентой которого может быть ключ. Кодирование должно приводить входной сигнал $I(x, y)$ к виду, пригодному для встраивания, т.е. обеспечивать незаметность встроенного сообщения, устойчивость к возможным преобразованиям стего изображения и возможность восстановления сообщения при априори неизвестном изображении-контейнере.

Одним из способов аппаратной реализации оператора $F(I)$ является использование когерентных оптических систем (ОС), выполняющих преобразование Фурье [6]. Тогда встраиваемая информация $I(x, y)$ будет выражаться через распределение комплексной амплитуды $U(x, y)$. С учетом регистрации распределения выходного волнового поля $U'(x', y')$ матричным приемником излучения (МПИ) стеганограмма будет определяться как $W(x', y') = |U'(x', y')|^2$. Проблема потери информации, содержащейся в фазе, может быть решена путем формирования такого вида волнового поля $U'(x', y')$, в котором отсутствовала бы фазовая информация. Например, при задании входного сигнала в виде четной функции относительно оптической оси фурье-преобразующей ОС выходной сигнал будет действительным. Другим способом сохранения фазовой информации является использование при регистрации опорного сигнала.

Метод опорной плоской волны. Идея метода заключается в том, что в МПИ регистрируется интерференционная картина, полученная при сложении основной волны, в параметрах которой содержится встраиваемое сообщение, и опорной волны. Основная волна представляет собой дифракционную картину Фраунгофера, локализованную с помощью фурье-преобразующего объектива (ФПО) 2 в плоскости 3 МПИ (рис. 2). Опорная волна представляет собой плоскую волну с известными параметрами. Встраиваемое сообщение задается амплитудно-фазовым транспарантом I , на котором происходит дифракция плоской волны.

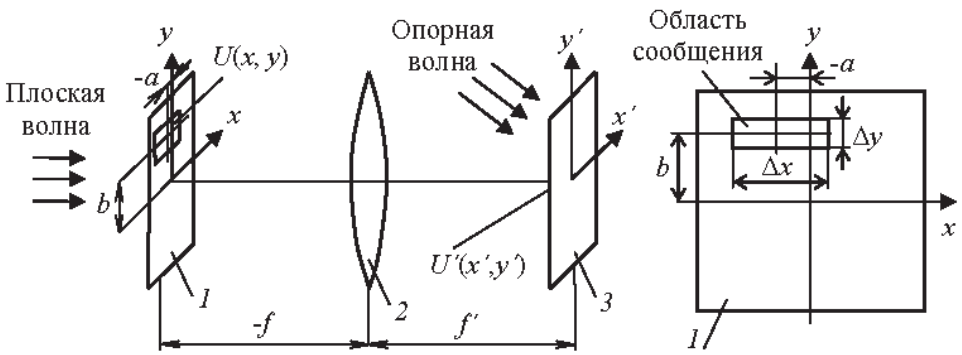


Рис. 2. Стеганограф, основанный на использовании ФПО с опорной волной: 1 – амплитудно-фазовый транспарант; 2 – ФПО; 3 – плоскость регистрации

Функция пропускания амплитудно-фазового транспаранта, описывающая сигнал на входе ФПО, определяется как

$$I(x + a, y + b) = I_A(x + a, y + b) \exp(i\varphi(x, y)), \quad (2)$$

где $I_A(x, y)$ – функция, описывающая амплитудный коэффициент пропускания транспаранта 1 и задающая сообщение; a, b – смещения относительно оптической оси объектива 2; $\varphi(x, y)$ – функция бинарной фазовой маски с псевдослучайным распределением фазы, назначением которой является выравнивание амплитуд в спектре выходного сигнала.

Сигнал на выходе ФПО описывается комплексной функцией, определяемой как

$$U'(x', y') = \mathfrak{F}\{I(x + a, y + b)\} = \tilde{I}\left(\frac{x'}{\lambda f'}, \frac{y'}{\lambda f'}\right) \exp\left[\frac{i \cdot 2\pi}{\lambda f'}(ax' + by')\right], \quad (3)$$

где \mathfrak{F} – оператор преобразования Фурье; λ – длина волны излучения; f' – фокусное расстояние ФПО.

Сигнал, регистрируемый МПИ, описывается функцией

$$W(x', y') = |U'(x', y')|^2 + |r(x', y')|^2 + U'(x', y')r^*(x', y') + U'^*(x', y')r(x', y'), \quad (4)$$

где $r(x', y')$ – комплексная амплитуда плоской опорной волны, имеющая вид

$$r(x', y') = r_A \exp\left[i \cdot 2\pi \left(\frac{\cos \alpha}{\lambda} x' + \frac{\cos \beta}{\lambda} y'\right)\right]. \quad (5)$$

(α, β – углы наклона плоской опорной волны к плоскости регистрации).

Подставив выражения (3) и (5) в функцию (4), получим выражение

$$W(x', y') = \left| \tilde{I} \left(\frac{x'}{\lambda f'}, \frac{y'}{\lambda f'} \right) \right|^2 + \\ + r_A^2 + r_A \tilde{I} \left(\frac{x'}{\lambda f'}, \frac{y'}{\lambda f'} \right) \exp [i \cdot 2\pi (\nu_{x0} x' + \nu_{y0} y')] + \\ + r_A \tilde{I}^* \left(\frac{x'}{\lambda f'}, \frac{y'}{\lambda f'} \right) \exp [-i \cdot 2\pi (\nu_{x0} x' + \nu_{y0} y')],$$

где использованы следующие обозначения:

$$\nu_{x0} = \frac{a}{\lambda f'} - \frac{\cos \alpha}{\lambda}, \quad \nu_{y0} = \frac{b}{\lambda f'} - \frac{\cos \beta}{\lambda}.$$

Рассмотрим спектр стего объекта, полученного с использованием выражения (1):

$$\tilde{S}(\nu_x, \nu_y) = \\ = \tilde{C}(\nu_x, \nu_y) + \lambda^2 f'^2 I(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) * \lambda^2 f'^2 I(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) + \\ + r_A^2 + r_A \lambda^2 f'^2 I(-\lambda f'(\nu_x - \nu_{x0}), -\lambda f'(\nu_y - \nu_{y0})) + \\ + r_A \lambda^2 f'^2 I^*(\lambda f'(\nu_x + \nu_{x0}), \lambda f'(\nu_y + \nu_{y0})), \quad (6)$$

где символ * означает интегральную операцию ковариации.

Из анализа выражений (2) и (6) следует, что встроенное сообщение $I_A(x, y)$ содержится в области спектра стего объекта, ограниченной частотами $\pm \nu_{1x,y}$ и $\pm \nu_{2x,y}$, которые определяются как

$$\nu_{1,2x} = \nu_{x0} \mp \frac{\Delta \nu_x}{2} \quad \text{и} \quad \nu_{1,2y} = \nu_{y0} \mp \frac{\Delta \nu_y}{2}, \quad (7)$$

где $\Delta \nu_x = \frac{\Delta x}{\lambda f'}$ и $\Delta \nu_y = \frac{\Delta y}{\lambda f'}$ — полосы частот встроенного сообщения; $\Delta x, \Delta y$ — размеры области сообщения. Поскольку регистрация интерференционной картины осуществляется МПИ, то максимальная частота $\nu_{2x,y}$ на которой происходит встраивание, не должна превышать частоту Найквиста ν_N , т.е.

$$\nu_{2x,y} < \nu_N = \frac{1}{2T_{x,y}}, \quad (8)$$

где $T_{x,y}$ — периоды дискретизации сигнала, соответствующие расстояниям между чувствительными элементами МПИ в направлении осей x и y .

Условие (8) накладывает следующие ограничения на параметры транспаранта и опорной волны:

$$\frac{1}{\lambda f'} \left(a + \frac{\Delta x}{2} \right) - \frac{\cos \alpha}{\lambda} < \frac{1}{2T_x} \quad \text{и} \quad \frac{1}{\lambda f'} \left(b + \frac{\Delta y}{2} \right) - \frac{\cos \beta}{\lambda} < \frac{1}{2T_y}.$$

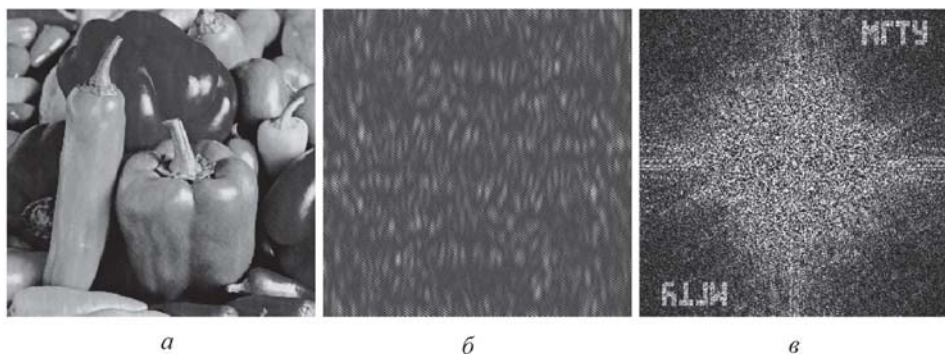


Рис. 3. Результаты моделирования по схеме с опорной волной:

а — изображение-контейнер; *б* — стеганограмма; *в* — спектр амплитуд стего объекта

Результаты моделирования стеганографа, основанного на использовании ФПО с опорной плоской волной, представлены на рис. 3. В качестве контейнера использовалось изображение, представленное на рис. 3, *а*. Здесь и далее при моделировании использовались изображения размером 256×256 пикселей и бинарные фазовые маски с числом элементов 256×256 и значениями фазы, равными 0 и π . Средний уровень встраиваемого сигнала не превышал трех уровней квантования, что делает его незаметным для восприятия человеком.

Данный метод аналогичен методу, предложенному в работе [7]. В этом случае встраивание ЦВЗ осуществляется в области высоких частот изображения-контейнера в незашифрованном виде. Скрытое сообщение легко выявить, применив преобразование Фурье к стего объекту (рис. 3, *в*).

Корреляционный метод. Для встраивания сообщений в частотную область изображения-контейнера в зашифрованном виде необходимо регистрировать интерференционную картину, полученную при сложении основной волны и опорной волны, параметры которой определяются известным ключом. Использование опорной волны сложного вида можно реализовать в стеганографе, построенном по схеме коррелятора совместного преобразования (рис. 4). Опорная волна в этом случае представляет собой локализованную в плоскости МПИ дифракционную картину Фраунгофера от опорного изображения, находящегося на входе ФПО.

Сигнал на входе ФПО определяется как

$$U(x, y) = [I_A(x, y) + r_A(x - a, y - b)] \exp(i\varphi(x, y)),$$

где $I_A(x, y)$ — функция амплитудного коэффициента пропускания транспаранта I в области сообщения; $r_A(x, y)$ — функция амплитудного коэффициента пропускания транспаранта I в области ключа, задающая известное опорное изображение; a и b — расстояния между центрами областей сообщения и ключа.

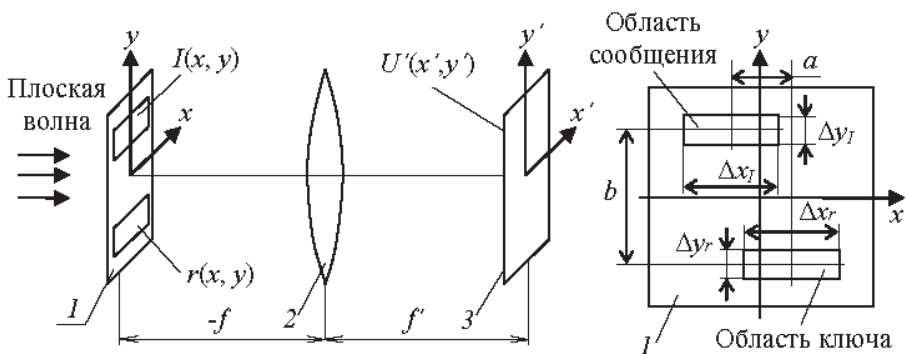


Рис. 4. Стеганограф, основанный на корреляторе совместного преобразования: 1, 2, 3 — обозначения см. рис. 2

Бинарная фазовая маска $\varphi(x, y)$ с псевдослучайным распределением фазы в этом случае не только выравнивает амплитуды в спектре выходного сигнала, но также является составляющей ключа, который необходимо знать для восстановления встроенного сообщения. Функция ключа определяется как

$$r(x - a, y - b) = r_A(x - a, y - b) \exp(i\varphi(x, y)).$$

Сигнал на выходе ФПО является комплексной функцией, имеющей вид

$$U'(x', y') = \tilde{I}\left(\frac{x'}{\lambda f'}, \frac{y'}{\lambda f'}\right) + \tilde{r}\left(\frac{x'}{\lambda f'}, \frac{y'}{\lambda f'}\right) \exp\left[-\frac{i \cdot 2\pi}{\lambda f'}(ax' + by')\right].$$

Применив преобразование Фурье к стего объекту, описываемому в общем случае формулой (1), получим

$$\begin{aligned} \tilde{S}(\nu_x, \nu_y) = & \tilde{C}(\nu_x, \nu_y) + \lambda^4 f'^4 [I(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) * I(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) + \\ & + r(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) * r(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) + \\ & + [r(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) * I(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y)]^* \otimes \delta(\nu_x - \nu_{x0}, \nu_y - \nu_{y0}) + \\ & + [I(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y) * r(\lambda f' \nu_x, \lambda f' \nu_y)]^* \otimes \delta(\nu_x + \nu_{x0}, \nu_y + \nu_{y0})], \quad (9) \end{aligned}$$

где использованы обозначения $\nu_{x0} = \frac{a}{\lambda f'}$ и $\nu_{y0} = \frac{b}{\lambda f'}$; \otimes — символическое обозначение свертки.

Из выражения (9) следует, что спектр стего объекта содержит два симметричных ковариационных пика, смещенных относительно нулевого порядка на значения $\pm\nu_{x0}$ и $\pm\nu_{y0}$. Каждый из них представляет собой взаимную ковариацию функции сообщения $I(x, y)$ и функции ключа $r(x, y)$. Таким образом, сообщение встроено в частотную область стего объекта в зашифрованном виде между $\pm\nu_{1x,y}$ и $\pm\nu_{2x,y}$, определяемыми согласно выражению (7). При этом $\Delta\nu_x = \frac{\Delta x_I + \Delta x_r}{\lambda f'}$

и $\Delta\nu_y = \frac{\Delta y_I + \Delta y_r}{\lambda f'}$ — полосы частот в стего объекте, содержащие зашифрованное сообщение, а $\Delta x_I, \Delta y_I$ и $\Delta x_r, \Delta y_r$ — размеры областей сообщения и ключа соответственно.

Условие (8) накладывает следующие ограничения на параметры транспаранта:

$$\frac{2a + \Delta x_I + \Delta x_r}{\lambda f'} < \frac{1}{T_x} \quad \text{и} \quad \frac{2b + \Delta y_I + \Delta y_r}{\lambda f'} < \frac{1}{T_y}.$$

Для восстановления сообщения необходимо выделить в спектре стего объекта область частот, в которой находится один из ковариационных пиков, согласно следующему условию:

$$\tilde{S}'(\nu_x, \nu_y) = \begin{cases} \tilde{S}(\nu_x, \nu_y), & \nu_{1x} \leq \nu_x \leq \nu_{2x} \cap \nu_{1y} \leq \nu_y \leq \nu_{2y}; \\ 0, & \nu_{1x} > \nu_x > \nu_{2x} \cup \nu_{1y} > \nu_y > \nu_{2y}. \end{cases}$$

Тогда восстановленный спектр изображения имеет вид

$$\tilde{I}_R(\nu_x, \nu_y) = \frac{\tilde{S}'(\nu_x, \nu_y)}{\tilde{r}(\nu_x, \nu_y) + \varepsilon},$$

где ε — постоянный коэффициент, который необходимо использовать, если функция $\tilde{r}(\nu_x, \nu_y)$ принимает нулевое значение.

Восстановленное сообщение находится по формуле

$$I_{RA}(x, y) = \left| \mathfrak{F}^{-1} \left\{ \tilde{I}_R(\nu_x, \nu_y) \right\} \right|.$$

Частным случаем этого метода является использование ключа, представляющего собой δ -функцию, тогда выражение (9) сводится к выражению (6) и сообщение будет встраиваться в незашифрованном виде.

Результаты моделирования приведены на рис. 5, при этом опорное изображение задавалось как

$$r_A(x, y) = \text{rect} \left(\frac{x}{\Delta x_r}, \frac{y}{\Delta y_r} \right).$$

Метод стеганографической защиты в виде шумоподобной составляющей. Метод основан на алгоритме двойного случайного кодирования фазы, предложенном в работах [8, 9] для оптического шифрования информации, и реализуется по схеме 4- f коррелятора, представленной на рис. 6. Сигнал на входе ФПО 3, задаваемый фазовым транспарантом 1, модулируется фазовой маской 2 со случайным распределением фазы. Сигнал на входе ФПО 5 модулируется случайной фазовой маской 4. Особенностью метода является то, что если элементы 2 и 4 имеют пространственное распределение фазы в виде реализации белого шума, то в результате преобразования сигнал в плоскости

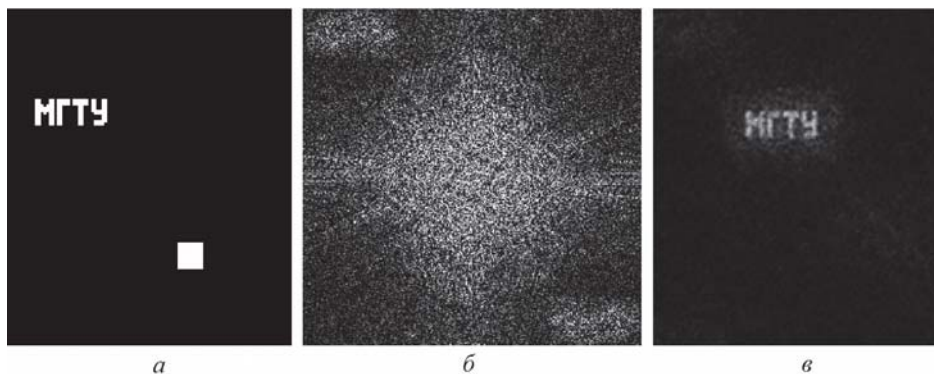


Рис. 5. Результаты моделирования по схеме коррелятора совместного преобразования:

a – распределение амплитуды входного сигнала; *б* – спектр амплитуд стего объекта; *в* – восстановленное сообщение

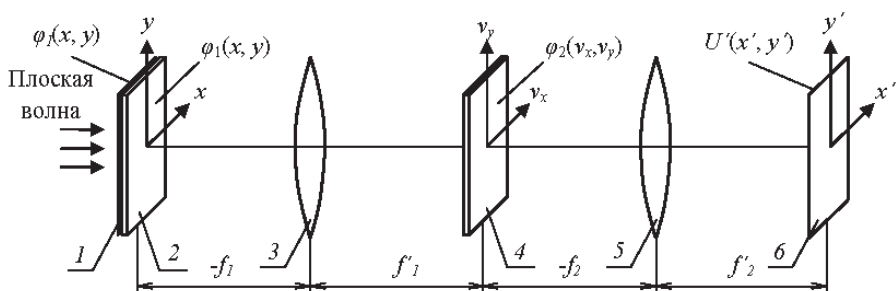


Рис. 6. Стеганограф, основанный на 4-*f* корреляторе:

1 – фазовый транспарант; *2, 4* – фазовые маски со случайным распределением фазы; *3, 5* – ФПО; *6* – плоскость регистрации

регистрации также будет иметь вид стационарного белого шума [8]. В этом случае пара фазовых масок *2* и *4* исполняет роль ключа.

Сигнал на входе ФПО *3* определяется формулой

$$U_1(x, y) = \exp [i (\varphi_I(x, y) + \varphi_1(x, y))],$$

где $\varphi_I(x, y)$ – функция бинарного фазового транспаранта *I*, задающая встраиваемое сообщение; $\varphi_1(x, y)$ – функция бинарной фазовой маски *2* с псевдослучайным распределением фазы.

Сигнал на входе ФПО *5* определяется выражением

$$U_2(\nu_x, \nu_y) = \mathfrak{F} \{ \exp [i (\varphi_I(x, y) + \varphi_1(x, y))] \} \exp [i \varphi_2(\nu_x, \nu_y)],$$

где $\varphi_2(x, y)$ – функция бинарной фазовой маски *4* с псевдослучайным распределением фазы.

Сигнал на выходе ФПО *5* имеет вид белого шума и определяется комплексной функцией

$$U'(x', y') = \exp \left[i \left(\varphi_I \left(-\frac{f'_1 x'}{f'_2}, -\frac{f'_1 y'}{f'_2} \right) + \varphi_1 \left(-\frac{f'_1 x'}{f'_2}, -\frac{f'_1 y'}{f'_2} \right) \right) \right] \otimes \mathfrak{S} \{ \exp [i\varphi_2 (\nu_x, \nu_y)] \},$$

где f'_1, f'_2 – фокусные расстояния ФПО 3 и 5 соответственно.

Стего объект $S(x', y')$ определяется согласно выражению (1), а именно

$$S(x', y') = C(x', y') + |U'(x', y')|^2.$$

Процесс восстановления заключается в обратном преобразовании и выделении действительной части полученного сигнала:

$$I_R(x, y) = \operatorname{Re} \left[\mathfrak{S}^{-1} \left\{ \mathfrak{S}^{-1} \{ W'(x', y') \} \exp [-i\varphi_2 (\nu_x, \nu_y)] \right\} \exp [-i\varphi_1 (x, y)] \right].$$

Входная функция $W'(x', y')$, используемая при обратном преобразовании, имеет вид

$$W'(x', y') = \Delta S(x', y') \exp [i\varphi_r(x', y')],$$

где $\Delta S(x', y')$ – шумоподобная составляющая, полученная из стего объекта путем медианной фильтрации с вычитанием; $\varphi_r(x', y')$ – фаза опорного сигнала $U_r(x', y')$, который определяется при отсутствии информации, т.е.

$$\varphi_r(x', y') = \arg \{ U_r(x', y') \},$$

где

$$U_r(x', y') = \exp \left[i\varphi_1 \left(-\frac{f'_1 x'}{f'_2}, -\frac{f'_1 y'}{f'_2} \right) \right] \otimes \mathfrak{S} \{ \exp [i\varphi_2 (\nu_x, \nu_y)] \}.$$

Результаты моделирования с использованием описанного метода представлены на рис. 7.

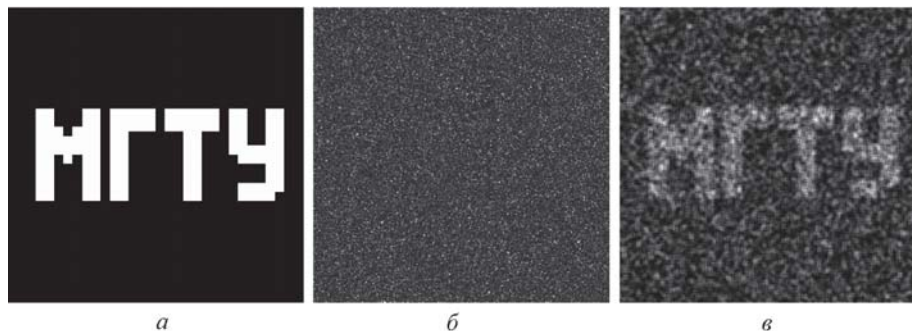


Рис. 7. Результаты моделирования по схеме 4- f коррелятора:

a – бинарный фазовый транспарант, задающий сообщение; b – стеганограмма; v – восстановленное сообщение

Поскольку сигнал встраивается в виде шумоподобной составляющей, то для успешного восстановления информации уровень встраиваемого сигнала должен превышать уровень собственного шума изображения-контейнера.

Выводы. На основе проведенного анализа показана возможность аппаратной реализации алгоритмов внесения ЦВЗ с помощью когерентных оптических корреляторов. В каждом из рассмотренных методов встраиваемый сигнал имеет свойства голограммы, распределенной по всему изображению-контейнеру, поэтому даже потеря части изображения позволяет восстановить встроенное сообщение.

Методы, осуществляющие встраивание информации в частотную область, более устойчивы к преобразованиям изображения в пространственной области, но ЦВЗ легко удаляется путем фильтрации, если известна полоса частот, в которой он содержится.

При использовании корреляционного метода встраивание ЦВЗ осуществляется в области высоких частот изображения-контейнера, а роль ключа выполняет опорный сигнал. Зашифрованный сигнал представляет собой функцию взаимной корреляции между функциями сообщения и ключа. При использовании метода двойного случайного кодирования фазы ЦВЗ распределены равномерно в пространственно-частотном спектре контейнера, так как имеют вид белого шума. В данном случае ключом является пара фазовых масок с псевдослучайным распределением фазы, что обуславливает жесткие допуски на их взаимное положение при аппаратной реализации этого метода.

Проведенное компьютерное моделирование на статических изображениях свидетельствует о незаметности встроенных сообщений и эффективности алгоритмов восстановления. Недостатками рассмотренных методов являются небольшой объем встраиваемых данных и искажения, возникающие при восстановлении.

Статья поступила в редакцию 27.05.2009

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
2. Конохович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: “МК-Пресс”, 2006. – 288 с.
3. Barni M., Bartolini F. Watermarking systems engineering: Enabling digital assets security and other applications. New York–Basel: Marcel Dekker (2004).
4. Strycker L. D., Termont P., Vandewege J., Haitma J., Kalker A., Maes M., Depovere G. Implementation of a realtime digital watermarking process for broadcast monitoring on Trimedia VLIW processor // IEE Proceedings–Vision, Image and Signal Processing. Vol. 147. No. 4, Aug. 2000. – P. 371–376.

5. Mathai N. J., Sheikholesami A., Kundur D. Hardware Implementation Perspectives of Digital Video Watermarking Algorithms // IEEE Transactions on Signal Processing. – Vol. 51. Issue 4. April 2003. – P. 925–938.
6. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. – М. Мир, 1970. – 364 с.
7. Смирнов М. В. Голографический подход к встраиванию скрытых водяных знаков в фотографии // Оптический журнал. – Т. 72. – № 6. – 2005.
8. Refregier P., Javidi B. Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding // Opt. Lett. 20, 767–769 (1995).
9. Kishk S., Javidi B. Information hiding technique using double phase encoding // Appl. Opt. 41, 5470–5482 (2002).

Статья поступила в редакцию 27.05.2009



Василий Яковлевич Колочкин родился в 1948 г., окончил в 1972 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана и в 1986 г. МИФИ. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области системного проектирования оптико-электронных приборов.

V.Ya. Kolyuchkin (b. 1948) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1972 and the Moscow Engineering Physics Institute in 1986. D. Sc. (Eng.), professor of “Laser and Optical-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of system designing of optical-electronic devices.



Максим Вячеславович Колесников родился в 1983 г., окончил в 2007 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аспирант кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специализируется в области методов цифровой и оптической обработки информации.

M.V. Kolesnikov (b. 1983) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2007. Post-graduate of “Laser and Optical-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Specializes in the field of methods of digital and optical processing of information.

Владимир Юрьевич Колесников родился в 1963 г., окончил в 1993 г. МТУСИ, ведущий эксперт в/ч 68240. Специализируется в области экспертизы видеозаписей.

V.Yu. Kolesnikov (b. 1963) graduated from the Moscow Technical University for Communication and Information Technology in 1993. Leading expert of military unit 68240. Specializes in the field of methods of expertise of videorecords.



Геннадий Михайлович Мосягин родился в 1932 г., окончил в 1956 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 125 научных работ в области проектирования оптико-электронных и лазерных приборов.

G.M. Mosyagin (b. 1932) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1956. D. Sc. (Eng.), professor of “Laser and Optical-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 125 publications in the field of designing of optical-electronic and laser devices.