

**ВСТРАИВАНИЕ БИНАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ ГРЕЯ***Горбачёв В.Н., Кайнарова Е.М., Денисов Л.А.**Северо-западный институт печати**Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна***Аннотация**

Для встраивания цифровых водяных знаков (ЦВЗ) в полутоновое изображение используются плоскости Грея, которые получаются из кодов Грея яркости пикселей. С помощью полученного представления через плоскости Грея рассмотрена задача о встраивании бинарного изображения. Найдено, что данные, сокрытые в плоскости Грея, являются более устойчивыми к JPEG-сжатию по сравнению со встраиванием в битовые плоскости.

**Ключевые слова:** цифровой водяной знак, коды Грея, JPEG-сжатие.

**Введение**

Коды Грея хорошо известны в теории информации [1], они обсуждаются почти в каждой книге по обработке изображений, однако их применение ограничено, как правило, только телемеханикой. Вместе с тем коды Грея для цифровых изображений позволяют выделить одно из основных его свойств – избыточность. Это представляет практический интерес для современной стеганографии, которая занимается встраиванием цифровых данных одного объекта в цифровые данные другого. Далее основное внимание будет уделено задаче встраивания цифровых водяных знаков в полутоновое изображение, коды Грея которого будем называть плоскостями Грея. Недостатка в методах встраивания нет, однако изображение является сложным объектом, что стимулирует исследования в этом направлении.

Плоскости Грея получаются из битовых плоскостей и определяют представление изображения в пространственной области. Известно большое число методов встраивания ЦВЗ в пространственной области [2], среди которых варианты LSB (Least Significant Bit, наименее значащий бит), блочное и аддитивное встраивание (см., например, [3, 4, 5, 6]), где используется битовое представление. Вместо битов могут быть триты, которые возникают в технике псевдотрехзначного кодирования, развитой для встраивания ЦВЗ [7]. После того как данные встроены, стегоизображение часто сохраняют в каком-либо графическом формате для дальнейшего использования. Преобразование в графический формат, например JPEG, который осуществляет сжатие с потерей, может разрушать ЦВЗ. Эта проблема хорошо известна. Простым решением служит выбор формата без потерь типа TIFF или PNG. Однако JPEG очень широко используется на практике, поэтому в литературе уделяется большое внимание стеганографии, устойчивой к JPEG-сжатию. Техника, устойчивая к сжатию с потерями, позволяет решать разные задачи, в число которых входит распознавание образов, повышение качества изображения (см., например, [8, 9]) и другие. Встраивание ЦВЗ в jpg-файл с последующим JPEG-сжатием известно как J2J (JPEG-to-JPEG) преобразование [10]. Оно изучалось во многих работах, где представлены методы, предлагающие разнообразные компромиссы между уровнем сжатия и деградацией ЦВЗ.

В нашей работе рассматривается встраивание бинарного изображения в плоскости Грея полутонового изображения. Использование плоскостей Грея для практических задач по обработке изображений авторам не известно. Основная цель – найти алгоритмы встраивания и детектирования и определить устойчивость к J2J преобразованию. Из найденного представления полутонового изображения через плоскости Грея следует, что для встраивания можно взять простой алгоритм побитового сложения, который является вариантом метода LSB. Особенности плоскостей Грея приводят к нескольким возможностям детектирования ЦВЗ, в частности слепого детектирования, когда пустой контейнер не требуется. Чтобы сравнить различные варианты, мы использовали стандартные меры искажения, такие как евклидово расстояние, PSNR (*Pick Signal Noise Ratio*) и относительную энтропию. Как показали результаты численного эксперимента, встраивание в плоскости Грея является более устойчивым к JPEG-сжатию, чем использование битовых плоскостей.

**1. Схема с плоскостями Грея**

Коды Грея для пиксела  $c$  получаются из двоичного представления его яркости  $c = b_w, b_{w-1}, \dots, b_1$  с помощью соотношения  $g_w = b_w$  и  $g_v = b_v + b_{v+1}$ ,  $V < W$ , где все  $b_v, g_v \in 0, 1$ . Здесь и далее все биты складываются по модулю два. Двоичные разряды  $b_v$  имеют вес  $2^{v-1}$ ,  $V = 1, \dots, W$ , где старший разряд  $W$ . Для кодов Грея это не так, поскольку они относятся к системам счисления с неестественными весами. В полутоновом изображении совокупность одноимённых двоичных разрядов  $b_v$  образует битовую плоскость. Это бинарное изображение  $B_v$ , где пиксел имеет два значения яркости. Аналогично совокупность кодов Грея  $g_v$  будем называть плоскостью Грея, которая также является бинарным изображением. Любое полутоновое изображение можно представить с помощью плоскостей Грея.

Пусть  $C$  – это 8-битовое полутоновое изображение. Его представление через битовые плоскости имеет вид  $C = \sum_{v=1}^8 2^{v-1} B_v$ . Из определения кода Грея следует, что

$$\begin{aligned} B_8 &= G_8, \\ B_T &= G_8 + \dots + G_v + \dots + G_T, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $T < 8$ . Отсюда вытекает важное свойство, которое используется дальше. Так, согласно (1) модификация одной плоскости Грея, например  $G_V$ , приводит к модификации сразу нескольких битовых плоскостей  $B_1, \dots, B_T, \dots, B_V$ . В итоге представление 8-битового изображения имеет вид

$$C = \sum_{V=1}^8 2^{V-1} (G_8 + \dots + G_V). \quad (2)$$

Будем рассматривать задачу встраивания бинарного изображения  $M$  в полутоновое, используя его плоскости Грея. Для этого возьмём простой алгоритм побитового сложения

$$G_V \rightarrow G_{VM} = G_V + M,$$

который представляет собой вариант метода LSB в пространственной области. Заметим, если использовать младшие плоскости  $V$ , где бинарное изображение выглядит как шум, то  $G_V$  играет роль секретного ключа, который выбирается случайным.

В результате получается стегоизображение

$$S = 2^7 B_8 + \dots + 2^{V-1} B_{VM} + \dots + 2^0 B_{1M}, \quad (3)$$

где  $B_{TM}, T = 1, \dots, V$  битовые плоскости со встроенным бинарным изображением  $M$

$$B_{VM} = B_V + M.$$

Отсюда следует, что встраивание в одну плоскость Грея  $G_V$  эквивалентно встраиванию в набор битовых плоскостей  $B_1, \dots, B_V$ . Из этого свойства возникает две возможности детектирования, когда скрытое изображение извлекается либо из плоскости Грея, либо из битовой плоскости.

Будем рассматривать неслепое детектирование, где требуется исходное изображение  $C$ . Для этого случая скрытое изображение можно извлечь из плоскости Грея  $G_V$  путём побитового сложения  $M = G_{VM} + G_V$ . Пусть функция  $bitget(A, V)$  (обозначение взято из MATLAB) вычисляет битовую плоскость  $V$  изображения  $A$ . Тогда с учётом определения плоскости Грея формула детектирования принимает вид

$$D_1 : M = bitget(C, V) + bitget(C, V + 1) + bitget(S, V) + bitget(S, V + 1), \quad (4)$$

где побитовая сумма

$$bitget(C, V + 1) + bitget(S, V + 1) = 0,$$

поскольку в плоскость  $V + 1$  ничего не встраивалось. Кроме этого есть вторая возможность детектирования. Так, можно взять одну из битовых плоскостей, поскольку  $M = B_T + B_{TM}$ , тогда

$$D_2 : M = bitget(C, T) + bitget(S, T), \quad (5)$$

где  $T = 1, 2, \dots, V$ .

Избыточность изображения позволяет модифицировать не одну, а несколько плоскостей. Это обстоятельство служит основой для слепого детектирования, когда исходное изображение не требуется. Схема следующая: в плоскость с номером  $V$  встраивается содержимое плоскости  $K$  вместе с  $M$ , а детектирование осуществляется из плоскостей  $K$  и  $V$  стего-изображения.

Для плоскостей Грея данная схема имеет следующий вид. Встраивание

$$G_V \rightarrow G_{VM} = G_K + M,$$

детектирование

$$M = G_{VM} + G_K = bitget(S, V) + bitget(S, V + 1) + bitget(S, K) + bitget(S, K + 1). \quad (6)$$

Если выбрать  $K = V + 1$ , то

$$M = bitget(S, V) + bitget(S, V + 2).$$

Приведённый вариант со слепым детектированием в отличие от неслепого, нельзя свести к эквивалентному встраиванию в битовые плоскости (3). Поэтому никаких двух путей детектирования типа (4) и (5) не возникает. Поясним на примере. Пусть  $V = 2, K = 3$  и  $G_2 \rightarrow G_{2M} = G_3 + M$ . Запишем (2) в виде

$$C = Z + 2^2(Y + G_3) + 2^1(Y + G_3 + G_2) + 2^0(Y + G_3 + G_2 + G_1),$$

где  $Y = G_8 + \dots + G_4$ . Используя выражение для  $G_{2M}$ , вместо (2) найдём

$$S = Z + 2^2(Y + G_3) + 2^1(Y + M) + 2^0(Y + G_1 + M).$$

Согласно (6) детектирование определяется выражением  $M = bitget(S, 2) + bitget(S, 4)$ .

## 2. Сжатие с потерей

Формат JPEG осуществляет сжатие с потерями, это сложный процесс, который будем описывать преобразованием

$$A \rightarrow A_q,$$

где  $q = 1, 2, \dots, 100$  – параметр качества. Он представляет собой вес, с которым используются матрицы квантования DCT (Discrete Cosine Transform) коэффициентов в формате JPEG. Большие значения  $q$  соответствуют высокому качеству и, соответственно, низкой степени сжатия.

Чтобы определить возможности плоскостей Грея для встраивания ЦВЗ, рассмотрим следующую схему, которая включает сжатие. Бинарное изображение  $M$  встраивается в битовую плоскость  $B_V$  и плоскость Грея  $G_V$  полутонового контейнера  $C$ . В результате получается два стегоизображения  $S_B$  и  $S_G$ , которые сжимаются вместе с контейнером

$$M, C \rightarrow S_B, S_G,$$

$$C, S_B, S_G \rightarrow C_q, S_{Bq}, S_{Gq}.$$

Затем осуществляются разные варианты детектирования: слепое и неслепое ( $D_1$  и  $D_2$ ). Сообразно встраиванию и детектированию будем рассматривать следующие четыре извлечённых ЦВЗ –  $M_b, M_{gb}, M_g, M_{gc}$ , которые определены соотношениями

$$M_b = bitget(C_q, V) + bitget(S_{Bq}, V),$$

$$M_{gb} = bitget(C_q, T) + bitget(S_{Gq}, T),$$

$$M_g = bitget(C_q, V) + bitget(S_{Gq}, V),$$

$$M_{gc} = \text{bitget}(S, V) + \text{bitget}(S, V + 2),$$

где  $T = 1, \dots, V$ . Здесь  $M_b$  получается при встраивании и извлечении из битовой плоскости при неслепом детектировании,  $M_{gb}, M_g$  получаются при встраивании в плоскость Грея и извлечении из битовой плоскости и плоскости Грея при неслепом детектировании, наконец,  $M_{gc}$  получается при встраивании в плоскость Грея и слепом детектировании.

### 3. Эксперимент

Основная цель эксперимента – сравнить встраивание в битовые плоскости и плоскости Грея и определить, какой из путей детектирования изображения, скрытого в плоскости Грея, будет лучше.

Для этого мы рассчитывали меры искажения  $d(M, X)$  между исходным изображением  $M$  и извлечёнными после сжатия  $X = M_b, M_{gb}, M_g, M_{gc}$ . В качестве мер были выбраны евклидово расстояние  $e(M, X)$ , пиковое отношение сигнал/шум  $PSNR(M, X)$  и относительная энтропия  $Q(M \| X)$ . Для двух матриц  $M$  и  $X$  эти величины определяются следующим образом

$$e(M, X) = \sqrt{(1/\Omega) \sum_{m,n} (M_{mn} - X_{mn})^2},$$

$$PSNR(M, X) = 20 \log_{10} \max |M_{mn}| / e(M, X),$$

$$Q(M \| X) = \sum_j p_M[j] (\log_2 p_M[j] - \log_2 p_X[j]),$$

где  $X$  – число элементов,  $p_M[j], p_X[j]$  – гистограммы яркости  $M$  и  $X$ . Смысл этих величин хорошо известен. Чем меньше евклидово расстояние и, соответственно, больше PSNR, тем изображения «ближе» друг к другу. Считается, что значение PSNR от 20 до 40 децибел соответствует приемлемому визуальному качеству [11]. Относительная энтропия характеризует различие гистограмм: чем она меньше, тем меньше различаются гистограммы.

#### Встраивание в битовую плоскость и плоскость Грея

Бинарное изображение  $M$  и полутоновый контейнер  $S$  представлены на рис. 1а, б. Использовалась битовая плоскость  $B_4$  и плоскость Грея  $G_4$ . Выбор  $V = 4$ , а не младших плоскостей  $V = 1, 2$  обусловлен следующим компромиссом.

При JPEG-сжатии сильнее разрушаются младшие битовые плоскости, поэтому лучше встраивать в более старшие, что, однако, может приводить к «проецированию» скрываемого изображения. В нашем случае при  $V = 4$  контейнер и стегоизображение визуально неразличимы. Заметим, для этого случая простые атаки типа  $\chi^2$  могут быть неэффективны. Для сжатия с параметром качества  $q = 90$  извлечённые ЦВЗ из битовой плоскости и плоскости Грея  $M_b$  и  $M_g$  показаны на рис. 1в, г. Здесь использовано неслепое детектирование. Визуальное качество у  $M_g$  лучше. Однако изображение, которое извлечено из плоскости Грея после сжатия, имеет не только более высокое визуальное качество, но и лучшие меры искажения,

определённые согласно (7). Для примера на рис. 2 приведена зависимость PSNR, усреднённая по 80 изображениям. Мы выбрали изображения из коллекции Caricichos де-Гой. Они имеют сложную текстуру, что позволяет встраивать ЦВЗ в старшие битовые плоскости. Для параметра качества  $q > 50$  эта область представляет наибольший интерес, для  $M_g$  получаются значения PSNR от 15 до 30 дБ, что свидетельствует в пользу приемлемого визуального качества.

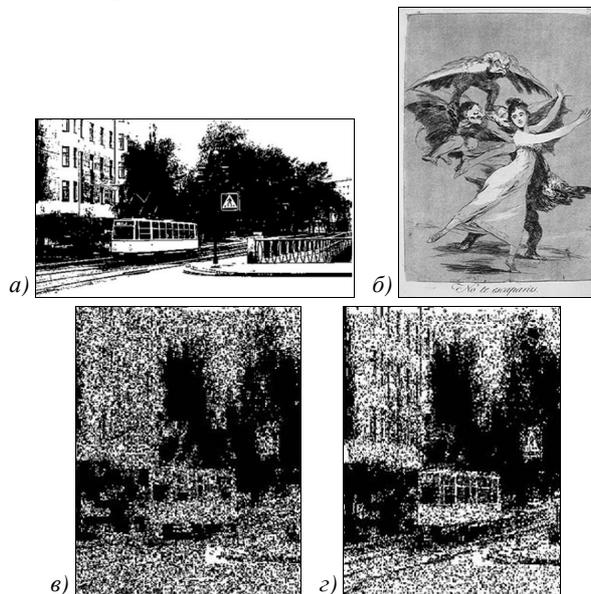


Рис. 1. Встраивание в битовую плоскость и плоскость Грея: бинарный ЦВЗ (а); полутоновый контейнер (б); ЦВЗ, извлечённые из битовой плоскости,  $q = 90$  (в); ЦВЗ, извлечённые из плоскости Грея,  $q = 90$  (г)

Пиковое соотношение «сигнал/шум»

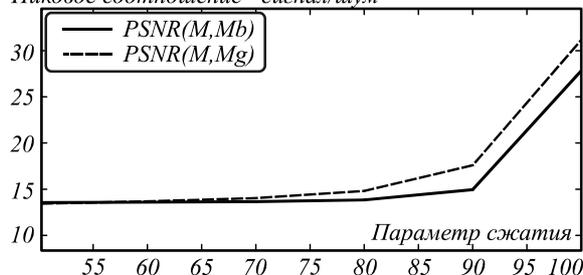


Рис. 2. Пиковое отношение сигнал/шум при встраивании в битовую плоскость и плоскость Грея

Из полученных результатов следует, что выбор между встраиванием в битовые плоскости и плоскости Грея решается в пользу последних.

#### Встраивание в плоскость Грея с детектированием из битовой плоскости и плоскости Грея

Здесь мы рассмотрели варианты слепого и неслепого детектирования для массива из 200 полутоновых изображений. ЦВЗ встраивалось в плоскости  $V = 2, 3, 4$  с характерными значениями  $q = 70, 80, 90$ . Были рассчитаны меры искажения  $d(M, X)$ , определённые согласно (7) между исходным изображением  $M$  и извлечёнными после сжатия  $X = M_b, M_{gb}, M_g, M_{gc}$ . На рис. 3а, б приведены значения евклидова расстояния и относительной энтропии, усреднённые по 200 изо-

бражениям, в зависимости от  $V$ . Все функции убывают, это связано со следующим обстоятельством. При сжатии большее искажение испытывают младшие битовые плоскости, поскольку они представляют избыточность изображения. Меры приведены для параметра качества  $q=80$ , что является не сильно щадящим режимом сжатия. Видно, что наилучшие показатели для не слепого детектирования – это наименьшее евклидово расстояние и относительная энтропия между  $M$  и  $M_g$ . Аналогичный результат для PSNR. На рис. 3в, г приведены две соответствующие гисто-

граммы евклидова расстояния и относительной энтропии. Это распределение значений этих мер, полученное из 200 изображений. Для евклидова расстояния и относительной энтропии возникают три хорошо различающихся распределения. Их средние значения соответствуют точкам  $V=4$  кривых в верхнем ряду. Хорошо различимые распределения характеризуют различие выбранных случаев встраивания.

Из найденных зависимостей следует, что при сжатии наиболее благоприятным вариантом детектирования является неслепое.

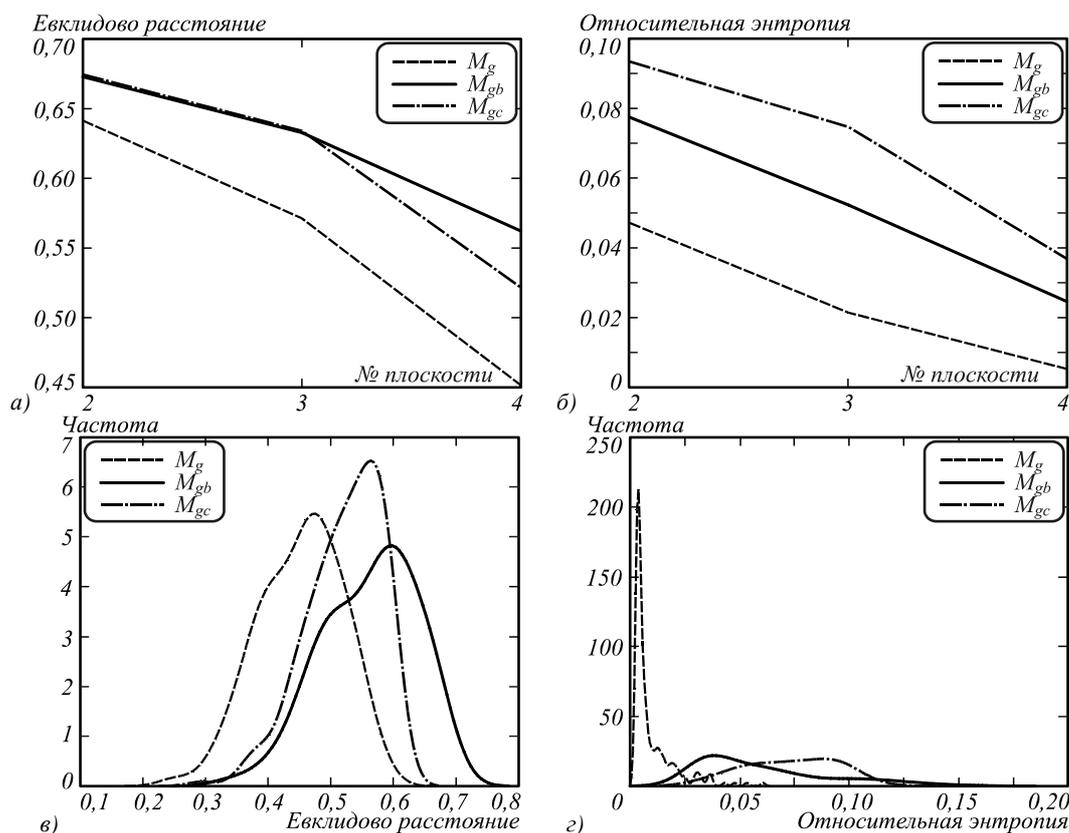


Рис. 3. Меры искажения и гистограммы для встраивания в плоскости Грея: Евклидово расстояние (а); относительная энтропия (б); распределение значений евклидова расстояния для  $V=4$  (в); распределение значений относительной энтропии для  $V=4$  (з)

### Выводы

Плоскости Грея цифрового изображения, наряду с битовыми плоскостями, могут быть использованы для сокрытия бинарного изображения. Для алгоритмов типа LSB встраивание в плоскость Грея эквивалентно использованию нескольких битовых плоскостей. Особенности проявляются при JPEG-сжатии стегоизображения. Это преобразование возникает естественным образом, когда изображение с ЦВЗ сохраняется на диске в jpg-файле. Наличие канала сжатия приводит к различным вариантам детектирования, среди которых возникает слепое детектирование. Чтобы оценить возможности разных вариантов, мы вычислили меры искажения между исходными и извлечёнными после сжатия ЦВЗ. Использовались такие меры, как евклидово расстояние, PSNR и относительная энтропия. Из расчетов, проведённых для мас-

сива изображений, следует, что лучше всего ЦВЗ встраивать и извлекать в плоскости Грея.

Полученные результаты иллюстрируют возможность практического использования плоскостей Грея в задачах встраивания ЦВЗ.

### Литература

1. Хэмминг, Р.В. Теория кодирования и теория информации / Р.В. Хэмминг. – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.
2. Сох, I.J. Digital Watermarking and Steganography / I.J. Cox, M.L. Miller, J.F. Bloom, J. Fridrich, T. Kaler. – Burlington, USA: ELSEVIER, Morgan Kaufmann Publishers, 2008.
3. Митекин, В.А. Модифицированные методы статистического стегоанализа бинарных и полутоновых изображений / В.А. Митекин // Компьютерная оптика. – 2005. – Вып. 28. – С. 145-151.
4. Митекин, В.А. Модели стеганографической системы и обобщённого алгоритма встраивания ЦВЗ в полиграфи-

- ческие изделия / В.А. Митекин, А.В. Сергеев, В.А. Федосеев, Д.М. Богомолов // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 4. – С. 95-100.
5. **Горбачёв, В.Н.** Один алгоритм блочного встраивания цифрового водяного знака в наименее значащие биты на основе условия равенства яркости / В.Н. Горбачев, Е.М. Кайнарова, И.К. Метелёв // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2010. – № 2. – С. 60-70.
  6. **Глумов, Н.И.** Алгоритм поблочного встраивания стойких ЦВЗ в крупноформатные изображения / Н.И. Глумов, В.А. Митекин // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 3. – С. 368-372.
  7. **Харинов, М.В.** Запоминание и адаптивная обработка информации цифровых изображений / М.В. Харинов. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. – 138 с.
  8. **Тимбай, Е.И.** Применение корректирующего фильтра для повышения качества изображений, сжатых методом JPEG / Е.И. Тимбай // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 4. – С. 513-518.
  9. **Лапшенков, Е.М.** Модель оценки потерь качества графического изображения при сжатии с потерями, ориентированная на системы распознавания образов / Е.М. Лапшенков // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 3. – С. 408-415.
  10. **Wong, P.H.W.** Capacity Estimation Technique for JPEG-to-JPEG Image Watermarking / P.H.W. Wong, O.C. Au // IEEE Transaction on circuit and system for video technology. – 2003. – Vol. 13, N 8. – P. 74-78.
  11. **Сэлмон, Д.** Сжатие данных изображений и звука / Д. Сэлмон. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

### References

1. **Hamming, R.V.** Coding theory and the theory of information / R.V. Hamming. – Moscow: "Radio and communication" Publisher, 1983. – 176 p. – (In Russian).
2. **Cox, I.J.** Digital Watermarking and Steganography / I.J. Cox, M.L. Miller, J.F. Bloom, J. Fridrich, T. Kaler. – Birlington, USA: ELSEVIER, Morgan Kaufmann Publishers, 2008.
3. **Mitekin, V.A.** Methods of statistical analyse of binary and grayscale images / V.A. Mitekin // Computer Optics. – 2005. – V. 28. – P. 145-151. – (In Russian).
4. **Mitekin, V.A.** Steganography system model and the generalized algorithm embedding a digital watermark in printing products / V.A. Mitekin, A.V. Sergeev, V.A. Fedoseyev, M.D. Bogomolov // Computer Optics. – 2007. – V. 31(4). – P. 95-100. – (In Russian).
5. **Gorbachev, V.N.** One algorithm of block embedding of the digital watermark in the least significant bits on the basis of the condition of equality of brightness / V.N. Gorbachev, E.M. Kaynarova, I.K. Meteleev // Journal Proceedings institutes of higher educations. The problems of Printing and of Publishing. – 2010. – V. 2. – P. 60-70. – (In Russian).
6. **Glumov, N.I.** The algorithm for large-scale images robust watermarking using blockwise processing / N.I. Glumov, V.A. Mitekin // Computer Optics. – 2011. – V. 35(3). – P. 368-372. – (In Russian).
7. **Kharinov, M.V.** Remembering and adaptive information processing of digital images / M.V. Kharinov. – Saint-Petersburg: Publishing House of St. Petersburg. University Press, 2006. – 138 p.
8. **Timbay, E.I.** Correction filter application for the quality improvement of images compressed using method jpeg / E.I. Timbay // Computer Optics. – 2011. – V. 35(4) – P. 513-518. – (In Russian).
9. **Lapshenkov, E.M.** Model for quality loss rating of graphic image after lossy compression, focused on image recognition systems / E.M. Lapshenkov // Computer Optics. – 2011. – V. 35(3). – P. 408-415. – (In Russian).
10. **Wong, P.H.W.** Capacity Estimation Technique for JPEG-to-JPEG Image Watermarking / P.H.W. Wong, O.C. Au // IEEE Transaction on circuit and system for video technology. – 2003. – Vol. 13, N 8. – P. 74-78.
11. **Salomon, D.** Compression of data, images, sound. / D. Salomon. – Moscow: "Technosphera" Publisher, 2004. – 368 p. – (In Russian).

## EMBEDDING OF BINARY IMAGE IN THE GRAY PLANES

V.N. Gorbachev<sup>2</sup>, E.M. Kainarova<sup>1</sup>, L.A. Denisov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> North-West Institute of Printing Arts of St. Petersburg State University of Technology and Design,  
Department of Informational and Control Systems

### Abstract

For digital watermarking of grayscale image it has been used its Gray planes achieved from the Gray code of the pixels. With the help of the representation of image over the Gray planes embedding of binary image is considered. It has been found that digital data hid into the Gray plane is more robust to JPEG compression than hiding into the bit planes.

**Key words:** digital watermarking, Gray code, JPEG-compression.

### Сведения об авторах



**Горбачёв Валерий Николаевич**, 1951 года рождения. Окончил физический факультет Ленинградского государственного университета им. А.А. Жданова. Доцент, кандидат физико-математических наук, работает на кафедре автоматизированного полиграфического оборудования в Северо-западном институте печати Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Область научных интересов: теория квантовой информации, обработка цифровых изображений.

E-mail: [valery.gorbachev@gmail.com](mailto:valery.gorbachev@gmail.com).

**Valery Nikolaevich Gorbachev**, (b. 1951) graduated from Leningrad State University of A.A. Jdanov, PhD on physics and mathematics, professor of North-West Institute of Printing Arts of St. Petersburg State University of Technology and Design. Field of interests is theory of quantum information, image processing.



**Кайнарова Елена Михайловна**, 1980 года рождения, в 2003 году окончила Северо-западный институт печати Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления». Старший преподаватель кафедры информационных и управляющих систем в Северо-западном институте печати СПб ГУТД. Руководитель научной группы «Image Processing Group» (<http://uipg.ru>). Область научных интересов: цифровая стеганография, обработка изображений, компьютерная графика, мультимедиа.

E-mail: [helenkainarova@gmail.com](mailto:helenkainarova@gmail.com).

**Elena Mikhailovna Kainarova**, (b. 1980) graduated (2003) from the North-West Institute of Printing Arts of St. Petersburg State University of Technology and Design. She is a senior lecturer at the North-West Institute of Printing Arts of Saint-Petersburg State University of Technology and Design. Headmaster of the Image processing group (<http://uipg.ru>). Main scientific interests are digital watermarking, image processing, computer graphics, and dia.



**Денисов Лев Александрович**, 1992 года рождения, является студентом Северо-Западного института печати Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Является членом научной группы «Image Processing Group» (<http://uipg.ru>). Область научных интересов: стеганография, программирование, компьютерная графика.

E-mail: [denisovlev@yandex.ru](mailto:denisovlev@yandex.ru).

**Lev Alexandrovich Denisov** (b.1992) student, North-West Institute of Printing Arts of St. Petersburg State University of Technology and Design, Faculty: Printing Technology and Equipment. Department: Informational and computer aided management systems. Member of the "Image processing group" (<http://uipg.ru>). Research interests are steganography, programming, computer graphics.

*Поступила в редакцию 29 марта 2013 г.*