

## ОСНОВЫ ОБЩЕГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА

*А.А.Кобозева. Основы общего подхода к решению проблемы обнаружения фальсификации цифрового сигнала.* Предложены математические основы общего подхода к проблеме доказательства подлинности цифрового сигнала, обнаружения его фальсификации независимо от вида сигнала и фальсифицирующего действия, обоснован выбор используемых математических инструментов, проведена адаптация предложенного подхода к решению конкретной задачи выявления фальсификации.

*А.А.Кобозева. Основи загального підходу до рішення проблеми виявлення фальсифікації цифрового сигналу.* Запропоновано математичні основи загального підходу до проблеми доведення автентичності цифрового сигналу, виявлення його фальсифікації незалежно від виду сигналу і фальсифікуючої дії, обґрунтовано вибір використовуваних математичних інструментів, проведена адаптація запропонованого загального підходу до рішення конкретної задачі виявлення фальсифікації.

*А.А.Кобозева. Foundations of General Approach to a Problem of Detection of Digital Signal Forgery.* New approach to a problem of digital signal forgery detection based on analysis of singular values disturbances of digital signal matrix is proposed in this article. This approach may be used for any digital signal.

Процесс внедрения новых информационных технологий невозможен без решения вопросов информационной безопасности [1], составной частью которой является обеспечение подлинности цифровых сигналов (изображений (ЦИ), видео, аудио (ЦА)), создание методов обнаружения их фальсификации. Этим вопросам в современной печати уделяется много внимания [2...6], однако до настоящего момента не существовало общего подхода к проблеме идентификации несанкционированного вмешательства в цифровой сигнал (ЦС), основывающегося на единой математической базе, который мог бы результативно использоваться независимо от того, какой именно сигнал подвергся фальсификации: ЦИ, видео или ЦА.

Автором настоящей работы был предложен метод обнаружения фальсификации ЦИ, базирующийся на анализе возмущений сингулярных чисел (СНЧ) блоков матрицы изображения [7], получивший дальнейшее развитие в [8...10]. Математическая основа метода дает принципиальную возможность для его использования при обработке не только ЦИ, но и цифровых видео, аудио.

*Целью* настоящей работы является формирование единого подхода к решению проблемы доказательства подлинности ЦС, детектирования его фальсификации, независимо от вида сигнала и фальсифицирующего воздействия, а также непосредственная адаптация формируемого подхода к решению конкретной задачи выявления фальсификации определенного вида.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить математическую формализацию для произвольного ЦС, процесса его фальсификации;
- на основе принятой формализации определить основные математические инструменты для анализа ЦС;
- выделить математические параметры, полностью определяющие ЦС при принятой формализации;
- установить характерные особенности выделенных параметров, определяющие свойства ЦС, позволяющие отделить фальсифицированный ЦС от оригинального при конкретном способе фальсификации;

— рассмотреть пример адаптации нового общего подхода для выявления фальсификации ЦС, проведенной определенным способом, путем разработки практического метода.

Произвольное ЦИ и видеосигнал, рассматриваемый как последовательность видеокадров, естественным образом представимы в виде матрицы (совокупности матриц) [11]. Хотя общеиспользуемой математической формализацией ЦА является вектор, возможны различные способы перехода к его двумерному матричному представлению [10]. Таким образом, свойства ЦС, независимо от его конкретного вида, будут определяться свойствами соответствующих матриц, в силу чего в качестве одного из математических инструментов при формировании единого подхода к проблеме обнаружения фальсификации ЦС используется матричный анализ. Поскольку любая матрица однозначно определяется своим сингулярным спектром – множеством сингулярных чисел (СНЧ) - и набором сингулярных векторов (СНВ) специального вида, которые получаются при помощи нормального сингулярного разложения матрицы (SVD) [12], то имеет место следующее утверждение.

**Утверждение 1.** Любой ЦС при выбранном матричном способе формализации определяется сингулярным спектром (спектрами) и набором (наборами) СНВ соответствующей ему матрицы (матриц): СНЧ и СНВ несут в себе всю информацию о состоянии ЦС.

Для любого преобразования ЦС, в том числе и фальсификации, возможно представление в виде возмущения соответствующей матрицы (матриц) [12], откуда, с учетом утверждения 1, следует

**Утверждение 2.** Результат произвольного преобразования ЦС формально представим в виде совокупности возмущений СНЧ и СНВ соответствующей ему матрицы (матриц), которые произошли в ходе преобразования.

Таким образом, в качестве математического инструмента при формировании подхода к проблеме обнаружения фальсификации ЦС наряду с матричным анализом естественно использовать теорию возмущений [9].

СНЧ произвольной матрицы, в отличие от ее СНВ, являются хорошо обусловленными [9], их возмущения сравнимы с величиной возмущающего воздействия [12]. В силу этого для оценки состояния ЦС до и после фальсифицирующего преобразования и силы самого преобразующего воздействия имеет смысл анализировать совокупность возмущений только СНЧ соответствующей матрицы (матриц).

Утверждения 1,2 составляют базис для создаваемого общего подхода к рассматриваемой проблеме, *основная идея которого заключается в сведении анализа произвольного ЦС, производимого с целью обнаружения его фальсификации, к анализу СНЧ соответствующей матрицы (матриц)*, выявлению их характерных особенностей, сигнализирующих о несанкционированном изменении ЦС. Очевидно, что после представления сигнала в матричном виде для предлагаемого подхода конкретика ЦС (ЦИ, ЦА или видео) не играет роли.

Для различных возмущений (в частности, различных способов фальсификации) характерные особенности СНЧ, сигнализирующие о возмущающем воздействии (несанкционированном изменении сигнала), очевидно будут различны. Необходимо выделить и обосновать признаки СНЧ, наличие или отсутствие которых говорит об определенных характеристиках исследуемого сигнала (дает возможность отделить фальсифицированный сигнал от оригинального при конкретном способе фальсификации), начало чему было положено в [7].

Для определенности и наглядности проводимых ниже рассуждений, не ограничивая в силу вышесказанного их общности, будем рассматривать в качестве ЦС изображение в градациях серого, конкретизируя, где необходимо, полученные результаты для ЦА, видео.

Проведем адаптацию предложенного общего подхода для конкретной задачи фотомонтажа ЦИ, проделанного наиболее часто встречаемым на практике способом,

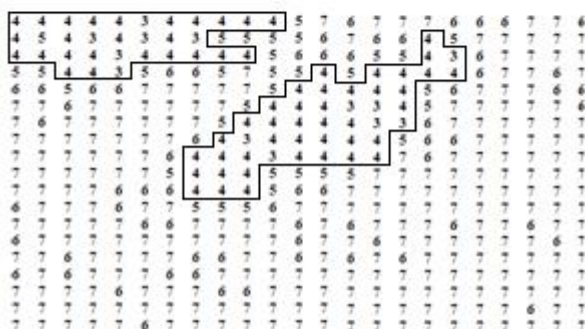
закрывающимся в следующем. Пусть часть ЦИ, которое будем называть *основным изображением* (ОИ), заменяется частью ЦИ, далее называемой *вклейкой*, или *замещающей областью* (ЗО). ОИ и изображение, из которого взята ЗО получены при помощи современных видеокамер, большинство из которых использует для хранения изображений схему JPEG (с потерями), основанную на дискретном косинусном преобразовании (DCT) [11], включающую в качестве основного шага *квантование*: DCT-коэффициенты блоков  $8 \times 8$ , полученных после предварительного разбиения матрицы ЦИ, квантуются при помощи массива нормализации и округляются до ближайшего целого. Восстановление изображения после JPEG-сжатия далее будем рассматривать в двух видах: *частичное восстановление* (ЧВ), включающее в себя обратное DCT без округления полученных коэффициентов, и *полное восстановление* (ПВ), при котором происходит округление коэффициентов матрицы, являющейся результатом ЧВ (введение их значений во множество целых чисел  $\{0,1,\dots,255\}$ ) [7]. Обсуждаемые фотоснимки – ПВ после JPEG-сжатия изображения.

Пусть полученное фальсифицированное ЦИ снова сохраняется в формате JPEG. Это приводит к повторному квантованию коэффициентов DCT, причем матрица нормализации может быть отлична от используемой при первом квантовании. Такой способ фальсификации для удобства изложения будем называть ниже F-2.

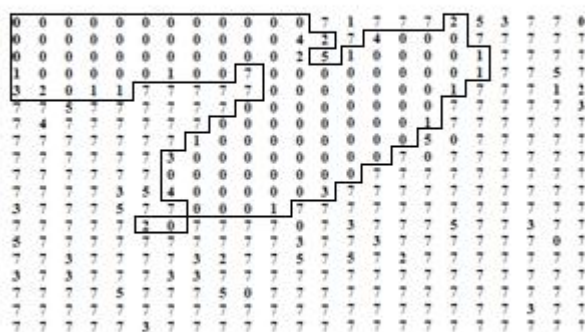
Поставим в соответствие ЦИ, матрица которого предварительно разбита на блоки, матрицу, каждый элемент которой равен количеству нулевых СНЧ в соответствующем



а



б



в

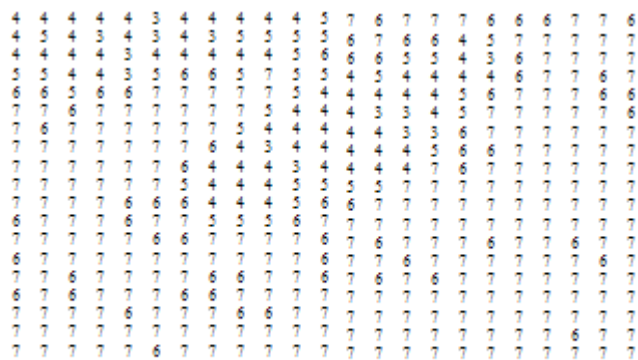
Рис. 1. Исходное ЦИ CELL.TIF (а);  
MNSCHB после ЧВ (б); после ПВ (в)

блоке (MNSCHB). В [7] были проанализированы и обоснованы характерные особенности этих матриц для ЦИ, хранимых без потерь, после квантования DCT-коэффициентов и ЧВ, после квантования и ПВ. Типичный пример представлен на рис.1 для изображения CELL.TIF, которое также будет использовано для демонстрации всех последующих результатов, где выделены элементы MNSCHB, имеющие наименьшие значения, что позволяет наглядно увидеть соответствие между контурами ЦИ и блоками, содержащими наименьшее количество нулевых СНЧ [7]. MNSCHB исходного изображения CELL.TIF – нулевая. В качестве матрицы нормализации, которая далее для удобства изложения обозначается KVANT, использовалась матрица, предложенная в [11].

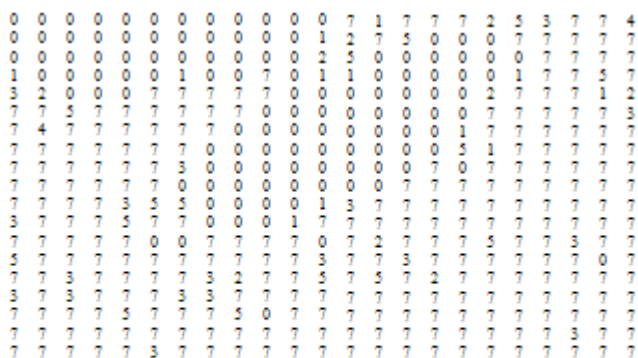
Поскольку фальсифицированное изображение при фотомонтаже F-2 сохраняется в формате JPEG, определим характерные особенности СНЧ блоков при повторном квантовании коэффициентов DCT, которые впоследствии будут использованы для идентификации несанкционированного изменения ЦИ.

Элементы матрицы нормализации второго квантования, далее обозначаемой KVANT2, могут быть отличны от элементов KVANT, но это отличие не может быть

значительным, поскольку матрицы нормализации строятся таким образом, чтобы учесть не только избыточность ЦИ с целью его сжатия, но и особенности зрительной системы человека, обеспечить отсутствие артефактов на изображении после его восстановления [11]. Перед квантованием (первым, вторым) используется стандартное разбиение матрицы ЦИ на блоки. Результаты для МНСЧБ изображения CELL приведены на рис.2. Как видно при сопоставлении рис.2(а) и 1(б) (рис.2(б) и 1(в)), дающих типичную картину происходящего, повторное квантование практически не меняет МНСЧБ по сравнению с первым квантованием при соответствующих восстановлениях. Как показывает вычислительный эксперимент, проведенный в среде MATLAB, такая картина будет наблюдаться независимо от того, больше или меньше коэффициенты KVANT2 относительно соответствующих коэффициентов KVANT. Результат является естественным в силу следующих рассуждений.



а



б

Рис. 2. МНСЧБ после второго квантования и ЧВ (а); ПВ (б)

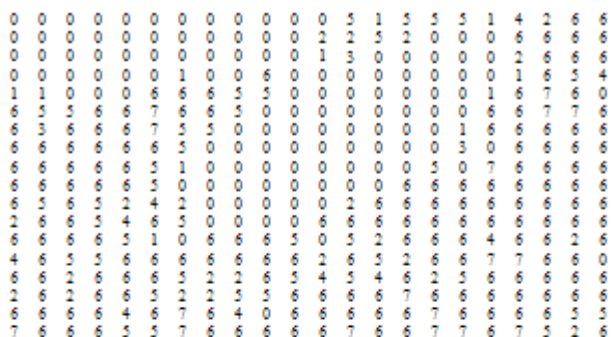
друг от друга как при частичном, так и при ПВ изображения, что и наблюдается на практике. Однако, нужно отметить, что очевидно важным фактором здесь является совпадение сеток разбиения на блоки (СРБ) матрицы изображения при первом и втором квантовании.

Рассмотрим вариант, когда СРБ различны.

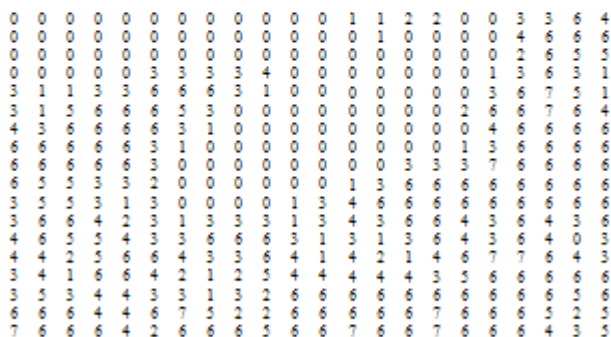
Пусть при некоторой определенной сетке разбиения проведено квантование коэффициентов DCT полученных блоков с последующим восстановлением, после чего определена МНСЧБ. Наличие нулевых СНЧ в восстановленном блоке после первого квантования говорит о линейной зависимости столбцов (строк) его матрицы. Количество отличных от нуля СНЧ определяет ранг матрицы блока (максимальное количество линейно независимых столбцов(строк)). Если теперь для восстановленного изображения изменить расположение СРБ и построить МНСЧБ для новой сетки (без повторного квантования), то она в общем случае будет отличаться от первоначальной.

При проведении первого квантования обнулятся коэффициенты DCT, отвечающие высоким (и возможно, средним) частотам, что приведет к обнулению наименьших СНЧ матриц блоков [12], некоторые из которых после ПВ изображения снова станут ненулями, но будут лишь незначительно отличаться от нуля [7]. Это повлечет за собой в ПВ изображении малое отличие от нуля обнуленных при первом квантовании коэффициентов DCT, соответствующих высоким частотам. Повторное квантование в подавляющем большинстве случаев вновь обнулит обсуждаемые коэффициенты DCT, а значит, как следствие, соответствующие СНЧ [12], оставляя ненулевыми те, которые были ненулевыми после первого квантования. Таким образом, МНСЧБ, получаемые после одного и двух квантований, будут мало отличаться

Действительно, пусть произошел сдвиг сетки на одну позицию вправо (влево). Этот сдвиг исключит из каждого блока один столбец и добавит новый. Вновь введенный столбец, первоначально принадлежавший другому блоку, сформированный при его квантовании, как правило, оказывается линейно независимым со столбцами блока, в котором он очутился. Если при этом исключенный столбец был одним из тех, которые определяли ранг блока, то описанная сдвижка СРБ не изменит ранга матрицы. В



а



б

Рис.3. МНСЧБ при сдвиге сетки разбиения на 1 по каждой оси (а); на 4 и 3 по осям OX и OY соответственно (б)

(исключаемые) при сдвиге СРБ, нельзя в полной мере считать случайными, вычислительный эксперимент, проведенный в среде MATLAB, подтверждает неувеличение элементов МНСЧБ при операции сдвига (рис.3 (срав. с рис. 1(в))). Однако их уменьшение в общем случае, как и было отмечено выше, непредсказуемо (рис.3(б)), приводит к значительному разбросу значений элементов МНСЧБ - от 1 до 7, что и является характерной особенностью несовпадения СРБ матрицы. Заметим однако, что упомянутое уменьшение и разброс значений элементов МНСЧБ характерен для областей, отвечающих фоновым частям изображения. Подобласти, содержащие многочисленные контура, практически остаются неизменными при сдвиге СРБ: количество нулевых СНЧ таких блоков невелико первоначально (для рассматриваемого примера CELL нулевые СНЧ в них отсутствуют вообще (рис.1(в))), сдвиг сетки не меняет здесь картину линейной независимости столбцов (строк) матриц блоков, поскольку исключаемые из блока (подключаемые к блоку) столбцы (строки) или их части линейно независимы [7].

Интерес к поведению элементов МНСЧБ при изменении положения сетки разбиения матрицы ЦИ не случаен. Если фотомонтаж осуществляется так, как предполагалось выше, т.е. ОИ и ЗО являются результатами одинарного квантования, то вероятность совпадения СРБ ОИ и ЗО, использованных при их квантовании, после осуществления фотомонтажа мала, а значит особенности МНСЧБ, возникающие за счет такого несовпадения, укажут на наличие фальсификации.

В единожды отквантованном и ПВ изображении проведем сдвиг СРБ. Новое разбиение матрицы ЦИ используем для повторного квантования с ПВ. Для демонстрации

противном случае, ранг матрицы блока увеличится на 1 (а количество нулевых СНЧ уменьшится на 1). Все сказанное выше будет иметь место и в том случае, если сдвиг сетки осуществляется на одну единицу вниз (вверх).

Если сдвиг сетки происходит одновременно по обеим осям на количество единиц, большее 1, то ничего определенного по поводу изменения значений МНСЧБ в общем случае сказать нельзя: как подключаемые, так и удаляемые столбцы (строки) и их части могут быть как линейно зависимыми, так и определять ранг произвольного блока. Однако, принимая во внимание, что для случайно выбранных  $m$  векторов из пространства размерности  $n$ , где  $m < n$  (в рассматриваемом случае  $m \leq 4, n = 8$ ), вероятность того, что они окажутся линейно зависимыми меньше, чем вероятность того, что они окажутся линейно независимыми, логично предположить, что в большинстве случаев при описанной выше операции сдвига сетки это должно привести к неуменьшению ранга матрицы (неувеличению количества нулевых СНЧ). И хотя вектора, фигурирующие в виде столбцов (строк) матриц блоков, подключаемые

результатов служит изображение CELL. Итоговая МНСЧБ (рис.4 (сдвиг сетки на 2 по каждой оси)) значительно отличается от МНСЧБ, представленной на рис.2(б). Полученный результат легко объясним, он является совокупностью двух причин: во-первых, сдвиг сетки по показанному выше приводит к значительному разбросу значений элементов МНСЧБ в фоновых подобластях изображения, во-вторых, из-за сдвига сетки структура матриц блоков, линейная независимость (зависимость) столбцов (строк) в пределах блока, являющаяся результатом первого квантования и ПВ изображения, разрушена. Проводимое повторное квантование по своей специфике является аналогом первого квантования с ПВ для исходного изображения: здесь появляется много блоков, имеющих малое число нулевых СНЧ и значительную часть ненулевых СНЧ, мало

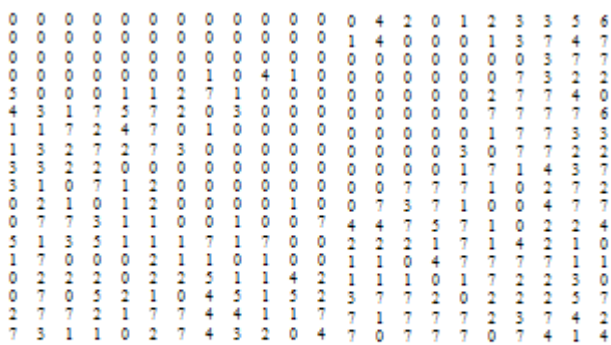


Рис. 4. МНСЧБ дважды квантованного ПВ изображения при сдвиге сетки разбиения

отличающихся от нуля [7]. Типичная картина может быть продемонстрирована на примере блока (7,2), имеющего только одно нулевое СНЧ (рис.4). Его сингулярный спектр определяется следующим образом: 960.3934, 3.6338, 1.0000, 0.7398, 0.6979, 0.4984, 0.2672, 0.0000. Значимым здесь очевидно является лишь максимальное СНЧ, все остальные лишь незначительно превышают ноль, являясь результатом округлений, выполняемых при ПВ изображения [7].

Воспользуемся выявленной особенностью СНЧ при повторном

квантовании с несовпадающими СРБ для определения фотомонтажа F-2.

Для наглядности изложения рассмотрим пример. Пусть изображение CELL подверглось JPEG-сжатию: один раз отквантовано и ПВ. На его основе формируется фотомонтаж CELL1 (рис.5(a)): ОИ и ЗО – части CELL, при этом замещающая область – это подобласть CELL, расположенная в нижнем правом углу, которая перемещена в верхний левый (такой прием, называемый копированием областей (region duplication), часто используется при фальсификации видео [13]). Хотя и ОИ, и ЗИ – части одной цифровой фотографии, СРБ их матриц, проделанных перед первым квантованием, после совершения фотомонтажа не совпадают. Если полученный фотомонтаж вновь сохранить в формате JPEG, что приведет к повторному квантованию и ПВ (что предполагает F-2), беря для этого СРБ стандартным образом (она совпадет с сеткой первого квантования только для ОИ и не совпадает для ЗО), то МНСЧБ будет выглядеть так, как представлено на рис.5(б). Внимание привлекает подобласть МНСЧБ, расположенная в ее левом верхнем углу, где без всякого «порядка» локализованы значения от 0 до 7. Такая ситуация для дважды квантованного и ПВ изображения, как следует из всего вышесказанного, принципиально возможна, если верхний левый угол изображения содержит контура [7], что не соответствует действительности, или если имеет место несовпадение СРБ левой верхней подобласти изображения при первом и втором квантовании, которое возникло за счет фальсификации исходного ЦИ.

Приведенный пример является наглядной иллюстрацией для обоснования основных шагов приведенного ниже метода обнаружения фотомонтажа F-2:



а

```

1 0 1 5 4 7 7 1 1 0 1 0 7 1 7 7 7 2 5 3 7 7
7 1 4 5 7 1 4 4 5 4 1 0 2 7 5 0 0 0 7 7 7 7
0 7 7 4 4 4 0 0 4 7 2 5 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7
7 7 7 2 4 2 2 2 1 7 0 1 0 0 0 0 0 1 7 7 5
4 1 0 2 2 1 7 7 2 3 0 0 0 0 0 0 2 7 7 7 1
7 7 5 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7
7 4 7 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 1 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 5 1 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 3 0 0 0 0 0 0 0 0 7 0 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 3 5 5 0 0 0 0 1 3 7 7 7 7 7 7 7 7 7
3 7 7 7 5 7 7 0 0 0 1 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 0 0 7 7 7 7 0 7 2 7 7 7 5 7 7 3 7
5 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 3 7 7 3 7 7 7 7 7 7 0
7 7 3 7 7 7 3 2 7 7 5 7 5 7 2 7 7 7 7 7 7
3 7 3 7 7 7 3 3 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 5 7 7 7 5 0 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 3 7

```

б

Рис.5. Изображение *CELL1* (а);  
МНСЧБ после квантования *CELL1* (б)

МPEG), а часто используемые способы фальсификации видео приводят к двойному квантованию коэффициентов DCT матриц, соответствующих блокам кадров [14]. Таким образом, установленные особенности СНЧ и предложенный выше метод определения фальсификации, основанный на этих особенностях, может использоваться не только для обнаружения фальсификации цифровой фотографии, но и видео.

**Замечание 2.** Предложенный метод обнаружения фальсификации ЦИ может быть использован и для ЦА, если фальсификация сигнала проводилась аналогичным описанному выше способом. Однако здесь важную роль будет играть способ перехода от векторного представления ЦА к матричному: необходимо, чтобы подозрительная с точки зрения фальсификации часть сигнала в соответствующей матрице локализовалась компактно, в связной области. Для обеспечения выдвинутого пожелания переход к матричному представлению имеет смысл производить спиралевидным способом, центр спирали будет соответствовать либо первому, либо последнему отсчету части звукового сигнала, проверяемой на подлинность [10].

**Замечание 3.** Для увеличения эффективности предлагаемого метода обнаружения фальсификаций ЦС при «улавливании» вклейки малого размера (копирования областей малых площадей) можно использовать прием, предложенный в [8]: матрице блока **A**, имеющей в общем случае произвольную структуру, ставятся в соответствие симметричные матрицы **B**, **C** той же размерности по правилу:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \dots a_{18} \\ a_{21} & a_{22} \dots a_{28} \\ \dots & \dots \\ a_{81} & a_{82} \dots a_{88} \end{pmatrix} \rightarrow \mathbf{B} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \dots a_{18} \\ a_{12} & a_{22} \dots a_{28} \\ \dots & \dots \\ a_{18} & a_{28} \dots a_{88} \end{pmatrix}, \mathbf{C} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} \dots a_{81} \\ a_{21} & a_{22} \dots a_{82} \\ \dots & \dots \\ a_{81} & a_{82} \dots a_{88} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

— разбить матрицу исследуемого ЦС на блоки  $8 \times 8$ ;

— для каждого из полученных блоков определить множества СНЧ;

— по результатам предыдущего шага построить МНСЧБ исследуемого ЦС;

— в МНСЧБ выделить связные подобласти, для которых наблюдается значительный «беспорядочный» разброс значений элементов. Они могут соответствовать вклейкам, либо областям исходного изображения, содержащим контура;

— для выделенных на предыдущем шаге подобластей проанализировать сингулярные спектры всех блоков, соответствующих наименьшим значениям элементов МНСЧБ. Вклейки определяются теми подобластями, для которых среди этих блоков будет значительная часть таких, большая часть СНЧ которых сравнима с нулем.

**Замечание 1.** Схема JPEG-сжатия широко используется при хранении цифровых видеосигналов (стандарт

после чего анализируются собственные значения  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$  вместо СНЧ  $\mathbf{A}$ . Соотношение (1) дает возможность увеличить вклад ЗО в отдельный блок, если эта ЗО занимала лишь часть  $\mathbf{A}$ .

В работе сформированы основы единого подхода к решению проблемы доказательства подлинности ЦС (ЦИ, ЦА, видео), детектирования его фальсификации, независимо от вида сигнала и фальсифицирующего воздействия, основная идея которого заключается в сведении анализа ЦС, проводимого с целью выявления его несанкционированного изменения, к анализу сингулярных чисел соответствующей матрицы (матриц) для определения их характерных особенностей, сигнализирующих о фальсификации ЦС. В качестве математических инструментов использованы матричный анализ и теория возмущений.

Предложенный в работе подход адаптирован к решению конкретной задачи выявления фотомонтажа, результатом чего явилась разработка практического метода.

Таким образом, все поставленные задачи решены, цель работы достигнута.

### Литература

1. Ленков С.В. Методы и средства защиты информации: в 2 т. / С.В.Ленков, Д.А.Перегудов, В.А.Хорошко. — К.: Арий, 2008 — . —  
i. Т.2: Информационная безопасность. — 2008. — 344 с.
2. Kundur D. Digital watermarking for tell-tale tamper proofing and authentication / D.Kundur, D.Hatzinakos // Proceedings of the IEEE. — 1999. — Vol. 87(7). — P. 1167 — 1180.
3. Popescu A. Exposing digital forgeries by detecting traces of re-sampling / A.Popescu, H.Farid // IEEE Trans. Signal Process. — 2005. — Vol. 53(2). — P. 758 — 767.
4. Bayram S. Image manipulation detection / S.Bayram, B.Sankur, N.Memon // Journal of Electronic Imaging. — 2006. — Vol. 15(4). — P. 1 — 17.
5. Wang W. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Duplication / W.Wang, H.Farid // MM&Sec. — 2007. — P. 35 — 42.
6. Журавель В.В. К развитию теории выявления следов цифровой обработки сигналов / В.В.Журавель, О.В.Рыбальский // Захист інформації. — 2007. — №1(32). — С. 83—85.
7. Кобозева А.А. Использование особенностей возмущений сингулярных чисел матрицы цифрового изображения для обнаружения его фальсификации / А.А.Кобозева // Искусственный интеллект. — 2008. — №1. — С.145 — 153.
8. Кобозева А.А. Повышение эффективности метода обнаружения фальсификации цифрового изображения, основанного на анализе сингулярных чисел матрицы / А.А.Кобозева, Е.А.Трифорова // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 2008. — Вып.1(29). — С.183 — 190.
9. Кобозева А.А. Использование теории возмущений для обнаружения фальсификации цифрового изображения / А.А.Кобозева // Проблеми інформатизації та управління. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології». Збірник наукових праць. — 2008. — №1(23). — С.16—22.
10. Кобозева А.А. Матричный анализ – основа общего подхода к обнаружению фальсификации цифрового сигнала / А.А.Кобозева, О.В.Рыбальский, Е.А.Трифорова // Вісник Східноукр-го нац-го ун-ту ім. В.Даля. — 2008. — № 8(126),ч.1. — С.62—72.
11. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р.Вудс. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
12. Кобозева А.А. Связь свойств стеганографического алгоритма и используемой им области контейнера для погружения секретной информации / А.А.Кобозева // Искусственный интеллект. — 2007. — №4. — С.531 — 538.
13. Wang W. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Duplication / W.Wang, H.Farid // MM&Sec. — 2007. — P. 35 — 42.
14. Wang W. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Double MPEG Compression / W.Wang, H.Farid // MM&Sec. — 2006. — P. 37 — 47.