

УДК 004.056.5:518:512.624.3



АНАЛИЗ СИНГУЛЯРНЫХ ЧИСЕЛ МАТРИЦЫ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА КАК ОСНОВА ПОДХОДА К ОБНАРУЖЕНИЮ ЕГО ФАЛЬСИФИКАЦИИ

А.А. Кобозева

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина, Alla_kobozeva@ukr.net

Разработаны математические основы общего подхода к проблеме доказательства подлинности цифрового сигнала, детектирования его фальсификации независимо от вида сигнала и фальсифицирующего воздействия, обоснован выбор используемых математических инструментов, а также проведена адаптация предложенного общего подхода к решению конкретной задачи.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ПОДЛИННОСТЬ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ (ИЗОБРАЖЕНИЙ), ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ, СИНГУЛЯРНЫЕ ЧИСЛА, МАТРИЦЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ФАЛЬСИФИЦИРОВАННЫЙ, ОСНОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, ЗАМЕЩАЮЩАЯ ОБЛАСТЬ, ЧАСТИЧНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ПОЛНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Введение

Для современного общества проблема информационного обеспечения всех сфер деятельности по своей значимости и актуальности превосходит проблему дальнейшей индустриализации производства, которая до недавнего времени считалась одной из центральных. Общество вступает в постиндустриальный период развития, который, по всеобщему мнению, можно назвать информационным [1].

Процесс внедрения новых информационных технологий невозможен без решения вопросов информационной безопасности [2], 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 [3–13], 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. Кроме того, методы, предлагаемые в открытой печати, не лишены значительных недостатков: многие не имеют под собой строгой математической базы [6–9], некоторые опираются лишь на специфические возможности используемых для получения ЦС технических средств [3–5] и так далее. Все это заставляет искать новые математические инструменты и подходы к решению рассматриваемой задачи в целом, начало чему было положено автором настоящей работы в [14], где был предложен метод обнаружения фальсификации ЦИ, базирующийся на анализе возмущений сингулярных чисел (СНЧ) блоков матрицы изображения. Математическая основа метода делает его принципиально адаптируемым для работы не только с ЦИ, но и цифровыми видео, аудио,

перспективным с точки зрения использования его основы для создания общего подхода к проблеме выявления фальсификации произвольного ЦС.

1. Постановка задачи и цель исследования

Целью статьи является формирование математических основ единого подхода к решению проблемы доказательства подлинности ЦС, детектирования его фальсификации независимо от вида сигнала и фальсифицирующего воздействия, обоснование выбора математических инструментов, используемых для этого, а также попытка непосредственной адаптации формируемого подхода к решению конкретной задачи.

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.

2. Математическое представление цифрового сигнала и его фальсификации

Произвольное ЦИ и видеосигнал, рассматриваемый как последовательность видеок кадров, естественным образом представимы в виде матрицы (совокупности матриц) [15]. Хотя общеиспользуемой

математической формализацией ЦА является вектор, возможны различные способы перехода к его двумерному матричному представлению. Таким образом, имеет место следующее утверждение.

Утверждение 1. В качестве математической модели любого из рассматриваемых ЦС (ЦИ, видео, ЦА) можно использовать матрицу (конечное множество матриц). Свойства ЦС, независимо от его конкретного вида, будут определяться математическими свойствами соответствующих матриц.

В силу утверждения 1 в качестве одного из математических инструментов при формировании единого подхода к проблеме обнаружения фальсификации ЦС используется матричный анализ [16].

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) [17], то имеет место следующее утверждение.

Утверждение 2. 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.

Произвольное преобразование ЦС, в том числе и фальсификация, представляется в виде возмущения соответствующей матрицы (матриц) [17], откуда, с учетом утверждения 2, следует следующее утверждение.

Утверждение 3. Любое преобразование ЦС формально представимо в виде совокупности возмущений СНЧ и СНВ соответствующей ему матрицы (матриц).

Таким образом, в качестве математического инструмента при формировании подхода к проблеме обнаружения фальсификации ЦС наряду с матричным анализом естественно использовать теорию возмущений [18].

СНЧ произвольной матрицы, в отличие от ее СНВ, являются хорошо обусловленными [18], их возмущения сравнимы с величиной возмущающего воздействия [17]. 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 1–3 составляют математический 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 [14].

3. Анализ сингулярных чисел

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.

Рассмотрим адаптацию предложенного выше подхода, основанного на анализе СНЧ соответствующих матриц, для конкретной задачи фотомонтажа ЦИ, проделанного наиболее часто встречаемым на практике способом, заключающимся 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) [15], включающую в качестве основного шага *квантование*: DCT-коэффициенты блоков 8×8 , 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 $\{0, 1, \dots, 255\}$) [14]. 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 отлич-

на от используемой при первом квантовании. Такой способ фальсификации для удобства изложения будем называть ниже F-2.

Задача заключается в выделении таких характерных особенностей СНЧ матриц блоков ЦИ, которые явно укажут на проведенную фальсификацию способом F-2.

Для наглядности результатов проводимых исследований поставим в соответствие ЦИ, матрица которого предварительно разбита на блоки, матрицу, каждый элемент которой равен количеству нулевых СНЧ в соответствующем блоке (МНСЧБ). В [14] были проанализированы и обоснованы характерные особенности этих матриц для ЦИ, хранимых без потерь, после квантования DCT-коэффициентов и ЧВ, после квантования и ПВ. Типичные примеры представлены на рис. 1 для изображения CELL.TIF, где выделены элементы, имеющие наименьшие значения, что позволяет наглядно увидеть соответствие между контурами ЦИ и блоками, содержащими наименьшее количество нулевых СНЧ [14]. МНСЧБ исходного изображения CELL.TIF – нулевая. В качестве матрицы нормализации, которая далее для удобства изложения обозначается KVANT, использовалась матрица, предложенная в [15].

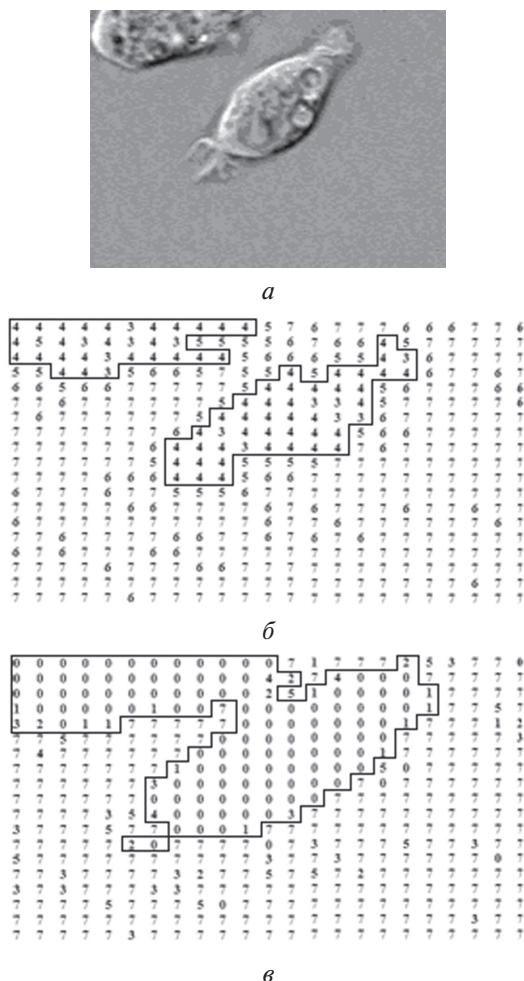


Рис. 1. Исходное ЦИ CELL.TIF (а); МНСЧБ после ЧВ (б); после ПВ (в)

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 [15]. 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. 2а и 1б (рис. 2б и 1в), дающих типичную картину происходящего, повторное квантование практически не меняет МНСЧБ по сравнению с первым квантованием при соответствующих восстановлении. Такая картина, как показывает вычислительный эксперимент, проведенный в среде MATLAB, будет наблюдаться независимо от того, больше или меньше будут коэффициенты KVANT2 относительно соответствующих коэффициентов KVANT. Результат является естественным в силу следующих рассуждений.

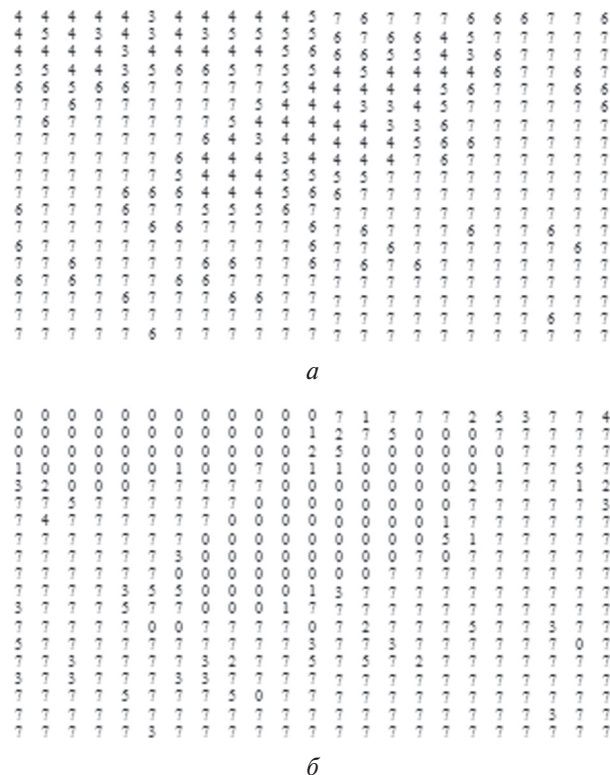


Рис. 2. МНСЧБ после второго квантования ЧВ (а); ПВ (б)

При проведении первого квантования обнулятся коэффициенты DCT, отвечающие высоким (и возможно, средним) частотам, что приведет к обнулению наименьших СНЧ матриц блоков [17], некоторые из которых после ПВ изображения снова станут ненулями, но будут лишь незначительно отличаться от нуля [14]. Это повлечет за собой в ПВ изображении малое отличие от нуля обнуленных при первом квантовании коэффициентов DCT, соответствующих высоким частотам. В силу этого повторное квантование в подавляющем большинстве случаев вновь обнулит обсуждаемые коэффициенты DCT, а значит, как следствие, соответствующие СНЧ, оставляя ненулевыми те, которые были ненулевыми после первого квантования. Таким образом, МНСЧБ, получаемые после одного и двух квантований, будут мало отличаться 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. Наличие нулевых СНЧ в 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)). Изменим расположение СРБ в матрице ЦИ. Эта операция приводит к изменению МНСЧБ. Рассмотрим ее подробно. Пусть произошел сдвиг сетки на одну позицию вправо. Этот сдвиг исключит из блока один (первый) столбец и добавит новый, который окажется последним. 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 первый столбец был одним из тех, которые определяли ранг блока, то описанная сдвижка СРБ не изменит ранга матрицы. В 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. 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. 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 неумению ранга матрицы (неувеличению количества нулевых СНЧ). И хотя векторы, фигурирующие в виде столбцов (строк) матриц блоков, подключаемые при сдвиге СРБ, нельзя в полной мере считать случайными, вычислительный эксперимент, проведенный в среде MATLAB, подтверждает неувеличение элементов МНСЧБ при операции сдвига. Типичная картина представлена на рис. 3 для изображения CELL (срав. с рис. 1б). В большинстве случаев количество нулевых СНЧ не увеличилось, однако, их уменьшение в общем случае, как и было отмечено выше, непредсказуемо (рис. 3б), приводит к значительному разбросу значений элементов МНСЧБ – от 1 до 7, что является характерной особенностью несовпадения СРБ матрицы. Заметим, однако, что упомянутое уменьшение и разброс значений элементов МНСЧБ характерен для областей, отвечающих фоновым частям исходного изображения. Что касается подобластей, содержащих многочисленные контуры, то они практически остаются неизменными при сдвиге СРБ: количество нулевых СНЧ таких блоков невелико первоначально (для рассматриваемого примера CELL нулевые СНЧ в них отсутствуют вообще (рис. 1б)), 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 [14].



а



б

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

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

Учитывая конкретику рассматриваемого способа фальсификации F-2, продолжим исследования. В единожды отквантованном и ПВ изображении проведем сдвиг СРБ. Новое разбиение матрицы ЦИ используем для повторного квантования с ПВ. Пример результирующей МНСЧБ для изображения CELL представлен на рис. 4 (сдвиг сетки на 2 по каждой оси).

Если сравнить МНСЧБ с представленной на рис. 2б, то заметны значительные отличия. 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 отличающихся от нуля [14]. Типичная картина наблюдается для 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 [14].

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	1	2	3	5	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1	3	7	7	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	1	0	0	0	0	0	7	7	3	2
5	0	0	0	0	1	1	2	7	1	0	0	0	0	0	0	2	7	4	0	0
4	3	1	7	5	7	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	6	3
1	3	7	2	4	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	7	7	3	3	3
1	3	3	7	2	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	7	7	2	2
3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	1	4	3	3	7
3	3	1	0	7	1	2	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	1	0	2	7
0	2	1	0	1	2	0	0	0	0	1	0	7	3	7	1	0	0	4	7	7
5	7	7	3	1	1	0	0	1	0	0	7	4	4	7	5	7	1	0	2	2
0	5	1	3	5	1	1	1	7	1	7	0	0	2	2	1	7	7	1	0	2
1	7	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	1	1	0	4	7	7	7	1	1
0	0	2	2	2	0	2	5	1	1	4	2	1	1	1	0	1	7	2	2	3
0	7	0	5	2	1	0	4	5	1	5	2	3	7	7	2	0	2	2	5	7
2	7	7	2	1	7	7	4	4	1	1	7	1	7	7	7	2	3	7	4	2
7	3	1	1	1	0	2	7	4	3	2	0	4	7	0	7	7	7	7	4	1

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

Воспользуемся выявленной особенностью СНЧ при повторном квантовании с несовпадающими СРБ для определения фотомонтажа F-2.

4. Метод обнаружения 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, представленный на рис. 5а: 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 [19]). 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. 5б. 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 контуры [14], 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.


$$a$$
[illegible]

6

Рис. 5. Изображение CELL1 (а); МНСЧБ CELL1 (б)

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

1. Разбить матрицу исследуемого ЦИ на блоки 8×8 .
2. Для каждого из полученных блоков определить множества СНЧ.
3. По результатам шага 2 построить МНСЧБ исследуемого ЦИ.
4. В МНСЧБ выделить связанные подобласти, для которых наблюдается значительный «беспорядочный» разброс значений элементов. Они могут соответствовать вклейкам либо областям исходного изображения, содержащим контуры.
5. Для выделенных на шаге 4 подобластей проанализировать сингулярные спектры всех блоков, соответствующих наименьшим значениям элементов МНСЧБ. Если среди этих блоков будет значительная часть таких, большая часть СНЧ которых сравнима с нулем, то данная подобласть соответствует вклейке.

Замечание 1. Схема JPEG-сжатия широко используется при хранении цифровых видеосигналов (стандарт MPEG), а часто используемые способы фальсификации видео приводят к двойному квантованию коэффициентов DCT матриц, соответствующих блокам кадров [20]. 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.

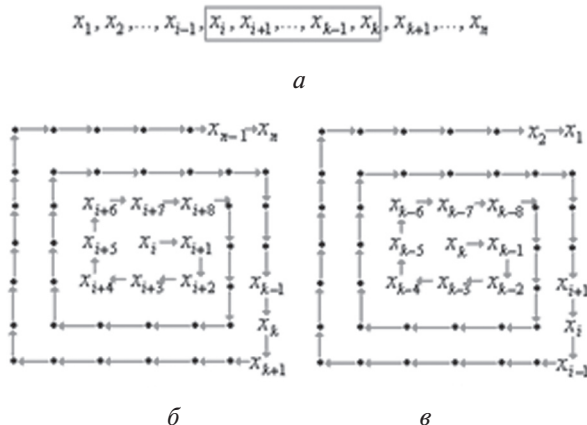


Рис. 6. Вектор, отвечающий ЦА (а); соответствующие матрицы, полученные спиралевидным способом (б, в)

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 соответс-

твующей 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 (рис. 6). На рис. 6а «подозрительная» часть ЦА выделена.

Замечание 3. Основным недостатком предложенного подхода к решению проблемы обнаружения фальсификации ЦС, основанного на анализе СНЧ блоков соответствующих матриц, остается его несостоятельность для «улавливания» вклейки малого размера (копирования областей малых площадей). Если размеры (размер) вклейки сравним с размером блока, уловить описанные выше характерные особенности элементов МНСЧБ будет невозможно. Для увеличения эффективности предлагаемых методов обнаружения фальсификаций ЦС можно использовать прием, предложенный автором в [21]: матрице блока A , имеющей в общем случае произвольную структуру, ставятся в соответствие симметричные матрицы B, C той же размерности по правилу:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{18} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{28} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{38} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{81} & a_{82} & a_{83} & \dots & a_{88} \end{pmatrix} \rightarrow B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{18} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{28} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & \dots & a_{38} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{18} & a_{28} & a_{38} & \dots & a_{88} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$C = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{81} \\ a_{21} & a_{22} & a_{32} & \dots & a_{82} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{83} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{81} & a_{82} & a_{83} & \dots & a_{88} \end{pmatrix},$$

после чего анализируются собственные значения [18] B, C вместо СНЧ A . Соотношение (3) дает возможность увеличить вклад 3О в отдельный блок, если эта 3О занимала лишь часть A .

Выводы

В работе сформированы математические 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 является разработка практического метода.

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

Список литературы: 1. Куприянов А.И., Сахаров А.В., Шевцов В.А. Основы защиты информации. — М.: Изд. центр «Академия». — 2006. — 256 с. 2. Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методы и средства защиты информации. — К.: Юниор, 2003. — 501 с. 3. Kundur D., Hatzinakos D. Digital watermarking for tell-tale tamper proofing and authentication // Proceedings of the IEEE. — 1999. — Vol. 87(7). — P. 1167-1180. 4. Fridrich J., Goljan M., Du M. Invertible authentication // In SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents. — 2001. 5. Blythe P., Fridrich J. Secure digital camera // In Proc. Digital Forensic Research Workshop. — 2004. 6. Popescu A.C., Farid H. Exposing digital forgeries by detecting traces of re-sampling // IEEE Trans. Signal Process. — 2005. — Vol. 53(2). — P. 758-767. 7. Johnson M. K., Farid H. Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting // In Proc. ACM Multimedia and Security Workshop. — New York. — 2005. — P. 1-10. 8. Bayram S., Sankur B., Memon N. Image manipulation detection // Journal of Electronic Imaging. — 2006. — Vol. 15(4). — P. 1-17. 9. He J., Lin Z., Wang L., Tang X. Detecting Doctored JPEG Images Via DCT Coefficient Analysis // ECCV(3). — 2006. — P. 423-435. 10. Wang W., Farid H. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Double MPEG Compression // MM&Sec. — 2006. — P. 37-47. 11. Wang W., Farid H. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Duplication // MM&Sec. — 2007. — P. 35-42. 12. Журавель В.В., Рыбальский О.В. К развитию теории выявления следов цифровой обработки сигналов // Захист інформації. — 2007. — № 1(32). — С. 83-85. 13. Рыбальский О.В. К экспериментальной проверке достоверности положений теории выявления следов цифровой обработки фонограмм // Реєстрація, зберігання та обробка даних. — 2004. — Т. 6, № 3. — С. 85-98. 14. Кобозева А.А.

Использование особенностей возмущений сингулярных чисел матрицы цифрового изображения для обнаружения его фальсификации // Искусственный интеллект. — 2008. — № 1. — С. 145-153. 15. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с. 16. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ. — М.: Мир, 1989. — 656 с. 17. Кобозева А.А. Связь свойств стеганографического алгоритма и используемой им области контейнера для погружения секретной информации // Искусственный интеллект. — 2007. — № 4. — С. 531-538. 18. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра. — М.: Мир, 2001. — 430 с. 19. Кобозева А.А. Применение сингулярного и спектрального разложения матриц в стеганографических алгоритмах // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. — 2006. — № 9(103), Ч. 1. — С. 74-83.

Поступила в редколлегию 22.10.2008

УДК 004.056.5:518:512.624.3

Аналіз сингулярних чисел матриці цифрового сигналу як основа підходу до виявлення його фальсифікації / А.А. Кобозева // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал — 2008. — № 2 (69). — С. 152-158.

Розроблено 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, а також проведено адаптацію запропонованого загального підходу до рішення конкретної задачі.

Л. 5. Бібліогр.: 19 найм.

UDK 004.056.5:518:512.624.3

Analysis of Digital Signal Matrix Singular Values as Foundation for its Forgery Detection / A.A. Kobozeva / Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2008. — № 2 (69). — P. 152-158.

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.

Fig. 5. Ref.: 19 items.