

Кобозева А.А., Рыбальский О.В., Трифонова Е.А.

МАТРИЧНЫЙ АНАЛИЗ - ОСНОВА ОБЩЕГО ПОДХОДА К ОБНАРУЖЕНИЮ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА

Предлагается общий подход к решению проблемы обнаружения фальсификации цифрового сигнала – изображения, аудио, видео, основанный на анализе сингулярных чисел блоков матриц, соответствующих рассматриваемым сигналам.

1. Постановка задачи и цель исследования

Процесс внедрения новых информационных технологий во все сферы жизни общества 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. Решению этих вопросов в современной печати уделяется много внимания [2-12], 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: изображение, видео или аудио. Методы, информация о которых доступна из открытой печати, никак не связаны между собой, не лишены значительных недостатков: многие не имеют под собой строгой математической базы [5-8], некоторые опираются лишь на специфические возможности используемых для получения ЦС технических средств [2-4] и т.д. Все это заставляет искать новые математические инструменты и подходы к решению рассматриваемой задачи *в целом*.

Глобальной целью авторов является создание единого подхода к решению проблемы доказательства подлинности ЦС, детектирования его фальсификации, независимо от вида сигнала и фальсифицирующего воздействия.

Целью настоящей работы является формирование базовых математических основ нового подхода к решению рассматриваемой задачи, обоснование выбора математических инструментов, используемых для этого, а также попытка непосредственной адаптации формируемого подхода к конкретной задаче.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- Определить общую математическую формализацию для произвольного ЦС и процесса его фальсификации;
- На основе принятой формализации определить основные математические инструменты для анализа ЦС;
- Выделить математические параметры, полностью определяющие ЦС при принятой формализации;
- Установить свойства выделенных параметров, определяющие некоторые характеристики ЦС. При этом наличие или отсутствие установленных свойств должно дать возможность 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. Формальное представление цифрового сигнала и процесса его фальсификации

Произвольное ЦИ и видеосигнал, рассматриваемый как последовательность видеок кадров, естественным образом представимы в виде матрицы (совокупности

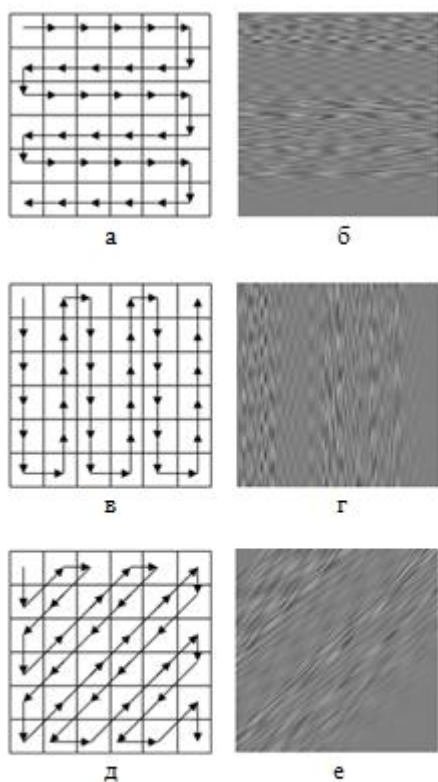


Рис.1. Способы преобразования векторного представления аудио-сигнала в матричное и соответствующие ЦИ: а,б – горизонтальный способ; в,г – вертикальный; д,е – диагональный

Утверждение 3. Любой ЦС при выбранном матричном способе формализации однозначно определяется сингулярным спектром (спектрами) и набором (наборами) СНВ соответствующей ему матрицы (матриц), т.е. СНЧ и СНВ несут в себе всю информацию о состоянии ЦС.

Произвольное преобразование ЦС, в том числе и фальсификацию, будем формально представлять в виде возмущения его матрицы (множества матриц) [15]. Возмущение матрицы повлечет за собой однозначно определяемые возмущения ее СНЧ и СНВ. Таким образом, имеет место

Утверждение 4. Произвольное преобразование ЦС представимо в виде совокупности возмущений СНЧ и СНВ соответствующей ему матрицы (матриц), т.е. возмущения СНЧ и СНВ несут в себе информацию об изменении состояния ЦС.

СНЧ произвольной матрицы, в отличие от ее СНВ, являются хорошо обусловленными [16], их возмущения сравнимы с величиной возмущающего воздействия. Реакция же СНВ на одно и то же возмущающее воздействие различна, кроме того, в силу значительной чувствительности некоторых СНВ, она может быть непредсказуемой, и величина возмущения будет значительно превосходить величину самого возмущающего воздействия, не давая информации о его истинной силе [15]. Таким образом, для наиболее объективной оценки состояния ЦС после его фальсифицирующего преобразования и силы самого преобразующего воздействия

матриц) [13]. Хотя общеиспользуемой математической формализацией ЦА является вектор, элементарно осуществляется переход к его двумерному матричному представлению, некоторые способы которого наглядно представлены на рис.1 (ЦИ, отвечающие двумерным моделям ЦА соответствуют звуковому сигналу BIZARRO.WAV). 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).

Такая общность дает возможность уйти от конкретики ЦС при его анализе.

Из утверждения 1 в качестве следствия вытекает

Утверждение 2. Свойства ЦС, независимо от их конкретного вида, будут определяться математическими свойствами соответствующих матриц. В силу этого в качестве основного математического инструмента, используемого при анализе свойств ЦС, может выступать матричный анализ [14].

Поскольку любая матрица однозначно определяется своим сингулярным спектром – множеством сингулярных чисел (СНЧ) - и набором сингулярных векторов (СНВ) специального вида, которые определяются нормальным сингулярным разложением матрицы (SVD) [15], то имеет место

имеет смысл анализировать совокупность возмущений лишь СНЧ соответствующей матрицы (матриц).

Утверждения 1-4 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.

Для различных возмущений (в частности, различных способов фальсификации) ЦС характерные особенности СНЧ, сигнализирующие о возмущающем воздействии (несанкционированном изменении сигнала), очевидно будут различны. Необходимо определить 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).

3. Характерные особенности сингулярных чисел блоков матрицы ЦС

В настоящее время хранение и передача ЦС по каналам телекоммуникаций в связи со значительным увеличением объемов информации осуществляется в сжатом состоянии. Этот немаловажный факт не может не учитываться при разработке подхода к решению рассматриваемой задачи.

Общая схема сжатия (с потерями) для ЦС состоит из трех основных шагов: отображение в частотную область, квантование полученных коэффициентов, энтропийное кодирование. Восстановление включает в себя шаги, обратные к перечисленным выше, в обратном порядке [13,18]. Далее, говоря о восстановлении ЦС, будем рассматривать два возможных способа: частичное восстановление (ЧВ) после «возвращения» матричных коэффициентов из частотной области в пространственную не предполагает их округления с целью введения во множество $\{0,1,\dots,255\}$ в отличие от полного восстановления (ПВ).

Квантование коэффициентов, полученных в частотной области, является необратимой процедурой и приводит к некоторым закономерным особенностям СНЧ блоков, полученных после предварительного стандартного разбиения матриц ЦС [13]. Для иллюстрации этих особенностей в среде MATLAB был проведен вычислительный эксперимент, в котором обработке подвергались различные ЦИ и ЦА, которые первоначально хранились в форматах без потерь (TIF, BMP, WAV). В качестве матрицы квантования использовалась матрица, предложенная в [13]. Некоторые из результатов эксперимента представлены в табл. 1-5, где последний столбец определяет общее число блоков (ОЧБ) при стандартном разбиении матрицы, а предпоследний – количество блоков, сингулярный спектр которых содержит нули, по отношению к ОЧБ, выраженное в процентах (этот столбец в таблицах для компактности обозначен Z). Последняя строка в каждой таблице – средние значения по столбцам, обозначаемая СрЗ. При получении матричного представления ЦА использовался диагональный способ.

Как видно из табл.1,2, лишь малая часть ОЧБ матриц, соответствующих ЦИ и ЦА, хранимым без потерь, имеет нулевые СНЧ (в среднем – менее 3% и 16% для ЦИ и ЦА соответственно). Данный факт не случаен. Ранг любой матрицы определяется количеством ее ненулевых СНЧ [14]. Однако, для произвольного ЦИ (или ЦА) вероятность того, что строки (столбцы) очередного блока соответствующей матрицы окажутся линейно зависимыми, невелика. Чаще всего это возникает в случае коллинеарности векторов, которая для реального ЦС, хранимого без потерь, встречается редко, что подтверждается вычислительным экспериментом.

Пусть ЦИ (или ЦА) подверглось сжатию, включающему в себя, как указано выше, необратимую операцию квантования матричных коэффициентов в частотной области, после чего было проведено ЧВ. Как показывает табл.3, у полученных матриц ЦИ

практически все блоки содержат нулевые СНЧ (в среднем их более 93%). Абсолютно аналогичная картина будет наблюдаться и для ЦА: здесь в среднем 92.05% блоков будут иметь нулевые СНЧ (соответствующая таблица не приводится в силу ограниченности объема статьи). Такая ситуация закономерна, поскольку существует определенное соответствие между элементами, определяющими ЦС в частотной и пространственной областях, что влечет взаимосвязь между элементами частотной области и сингулярного спектра [15], следствием которой и является наблюдаемая картина.

Таблица 1.

Результаты SVD блоков изображений, хранимых без потерь

№ п/п ЦИ	Кол-во блоков, имеющих m нулевых СНЧ, по отношению к ОЧБ (%)								Z	ОЧБ
	$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$	$m=8$		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	576
2	2.14	0.19	0.09	0	0	0	0	0	2.42	1075
3	9.19	1.46	0.16	0.03	0.06	0.10	0.03	0.06	11.11	3078
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	957
5	5.08	3.22	0.10	0	0	0	0	0	8.40	1024
6	3.35	1.77	0.28	0	0.09	0	0	0	5.49	1075
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	437
8	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0.17	1190
9	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0.29	2100
10	0.72	0.11	0	0	0	0	0	0	0.82	2790
11	0.62	0.16	0	0	0	0	0	0	0.78	644
12	2.13	0.13	0	0	0	0	0	0	2.26	2350
13	5.19	1.73	1.15	0.47	0.41	0.20	0.14	0	9.29	2948
14	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0.41	966
15	5.69	0.62	0.10	0	0	0	0	0	6.42	966
16	1.91	0	0	0	0	0	0	0	1.91	784
17	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.27	3009
18	0.93	0	0	0	0	0	0	0	0.93	1080
19	0.20	0.10	0	0.10	0	0	0	0	0.40	999
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1024
22	1.24	0	0.14	0	0	0	0	0	1.38	725
СрЗ	1.80	0.43	0.09	0.03	0.03	0.01	0.01	0.00	2.40	

Пусть исходный ЦС (ЦИ или ЦА), подвергшийся сжатию, восстанавливается полностью. Это действие возмутит матрицу ЦС, полученную после ЧВ, определенным образом изменится количество нулевых СНЧ в блоках (табл.4,5). В тех блоках, где после ЧВ не было элементов, значительно меньших 0 или больших 255 (таких блоков большинство), возмущение матрицы будет небольшим, а поскольку, как было отмечено выше, СНЧ являются нечувствительными к возмущающим воздействиям, в данном случае – к округлениям, их возмущения также будут незначительными. Нулевые СНЧ блоков матрицы частично восстановленного ЦС хоть и станут ненулями после ПВ, но их значения будут сравнимы с погрешностью округления, что не характерно для блоков исходного ЦС. Такая особенность дает возможность различать блоки полностью восстановленного после сжатия и исходного ЦС.

Наиболее заметным различие между исходным ЦС, хранимым без потерь, и ПВ после сжатия будет при сравнении их матриц нулевых СНЧ блоков (МНСЧБ). Каждый элемент такой матрицы определяет количество нулевых СНЧ в соответствующем блоке. Типичная картина представлена на рис.2 (изображение CAMERAMAN.TIF). Хотя значения 0,1,2,3 присутствуют в обеих МНСЧБ, но количество нулей в первой матрице несоизмеримо превосходит количество нулевых значений второй матрицы, а элементы, равные 5,6,7,8, в первой матрице отсутствуют вообще.

Таблица 2.

Результаты SVD блоков матриц исходных аудио, хранимых в формате WAV

№ п/п ЦА	Кол-во блоков, имеющих m нулевых СНЗ, по отношению к ОЧБ (%)								Z	ОЧБ
	$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$	$m=8$		
1	0	0	0	14.7	1.18	0.59	1.78	0	18.34	10000
2	2.16	1.54	0.31	2.16	9.26	1.23	7.10	0	23.77	19321
3	0	1.23	0.31	0	10.8	0	3.09	0	15.43	19321
4	0	0	0	0	0	0	8.88	0	8.88	28561
5	5.54	0.83	0	0	0	10.2	0	0	16.62	21316
6	0	0	0	19.0	0	0	0	0	19.00	5776
7	2.22	3.56	0.89	0	10.2	0.89	7.11	0	24.89	13225
8	0.19	0.19	0.19	0	0	0	9.07	0	9.64	31329
9	1.07	1.17	5.37	0.88	0.59	0.78	1.66	0	11.52	64009
10	1.66	0.63	0.63	3.59	0.78	0.44	0.70	0	8.43	169744
11	20.0	0	0	0	1.00	0	0	0	21.00	6241
12	2.93	1.15	5.74	0.51	0.38	0.26	1.66	0	12.63	48841
13	0	0	0	0	7.69	0	0	0	7.69	41209
14	0.52	0	0.10	4.16	0	0	8.43	0	13.22	59536
15	0	14.79	0	0	0	0	0	0	14.79	10404
16	0	0	0	0	0	43.7	0	0	43.75	676
17	0.44	4.69	0.19	0	0	0	0.06	0	5.38	101124
СрЗ	2.16	1.75	0.81	2.65	2.46	3.42	2.91	0	15.18	

Таблица 3.

Результаты SVD блоков частично восстановленных изображений

№ п/п ЦИ	Кол-во блоков, имеющих m нулевых СНЗ, по отношению к ОЧБ (%)								Z	ОЧБ
	$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$	$m=8$		
1	0	0	0.35	7.99	46.53	40.28	4.86	0	100	576
2	0	2.23	14.79	29.30	20	10.05	23.63	0	100	1075
3	35.4	22.7	13.13	6.17	2.01	0.39	0	0.13	80.00	3078
4	0	0.10	27.59	42.11	12.85	13.58	3.76	0	100	957
5	1.17	7.71	16.41	14.45	7.81	12.5	39.55	0	99.61	1024
6	18.5	15.7	16.65	10.98	4.47	0.37	0.28	0	66.98	1075
7	0	0	2.97	14.87	7.55	14.87	59.73	0	100	437
8	0	0	0.25	21.60	42.44	28.57	7.14	0	100	1190
9	0	0	0	0.48	2.24	10.52	86.76	0	100	2100
10	0.32	4.70	20.36	25.05	21.54	15.38	12.65	0	100	2790
11	0	7.45	29.35	30.90	22.67	6.06	3.57	0	100	644
12	18	15.2	13.49	10.26	2.43	0.04	0	0	59.36	2350
13	0	0.03	2.75	10.21	14.52	13.64	58.14	0.71	100	2948
14	0	0.72	6.63	17.18	29.09	21.74	24.64	0	100	966
15	0	0.41	5.07	14.7	30.44	20.08	25.57	3.73	100	966
16	0	0	0.13	0	0	0.64	99.24	0	100	784
17	0	2.89	41.18	14.89	8.21	17.35	15.49	0	100	3009
18	0	0	1.02	6.20	29.35	38.33	25.09	0	100	1080
19	27.8	15.9	10.61	3.80	0.20	0.20	0.10	0	58.66	999
20	0.83	10.7	23.97	29.75	14.05	11.57	9.09	0	100	121
21	0	0	23.54	53.32	16.02	6.35	0.78	0	100	1024
22	0	2.07	17.10	24.69	17.93	17.66	20	0.55	100	725
СрЗ	4.64	4.94	13.06	17.68	16.02	13.64	23.64	0.23	93.84	

Проведенный выше анализ СНЧ является первым этапом на пути к достижению поставленной глобальной цели работы. И хотя этот анализ является далеко неполным, он представляет из себя яркую иллюстрацию возможностей, предоставляемых матричным анализом, для определения характеристик ЦС. Выявленные особенности СНЧ дают возможность отделять друг от друга ЦС или их области, хранимые без потерь, и восстановленные после проведенного сжатия, что может быть эффективно использовано, как показано ниже, при выявлении конкретных фальсификаций ЦС.

Таблица 4.

Результаты SVD блоков 8×8 полностью восстановленных изображений

№ п/п ЦИ	Кол-во блоков, имеющих m нулевых СНЧ, по отношению к ОЧБ (%)								Z	ОЧБ
	$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$	$m=8$		
1	11.29	9.72	6.94	4.86	2.08	0.52	4.86	0	40.28	576
2	3.07	2.88	1.12	1.77	1.12	0.19	23.63	0	33.77	1075
3	0.52	0.06	0.03	0.10	0.06	0	0	0.13	0.91	3078
4	2.93	3.55	1.99	2.30	1.36	0.10	3.76	0	15.99	957
5	1.46	4.59	1.46	2.93	1.46	0	39.55	0	51.47	1024
6	0.56	0.19	0	0.19	0.09	0	0.28	0	1.30	1075
7	2.97	1.83	4.35	0.92	2.97	0	59.73	0	72.77	437
8	11.60	6.55	4.71	5.55	1.51	0.08	7.14	0	37.14	1190
9	2.33	3.24	1.38	1.19	0.86	0	86.76	0	95.76	2100
10	4.87	2.62	2.54	1.72	2.22	0.11	12.65	0	26.74	2790
11	3.57	1.55	0.47	0.31	0.31	0	3.57	0	9.78	644
12	0.34	0.04	0.04	0.04	0	0	0	0	0.46	2350
13	3.93	2.00	2.41	1.39	1.80	0	58.14	0.71	70.39	2948
14	7.04	3.00	2.69	3.42	1.97	0.10	24.64	0	42.86	966
15	7.25	3.62	2.90	2.69	1.35	0.31	25.57	3.73	47.41	966
16	0	0.13	0.38	0.13	0	0	99.24	0	99.87	784
17	3.22	2.26	2.69	2.89	4.05	0	15.49	0	30.61	3009
18	11.94	6.76	6.11	3.06	2.5	0	25.09	0	55.46	1080
19	0.10	0.10	0	0	0	0	0.10	0	0.30	999
20	4.13	1.65	1.65	0	1.65	0	9.09	0	18.18	121
21	2.64	0.68	0.39	0.39	0	0.39	0.78	0	5.27	1024
22	6.07	4.14	2.62	2.90	1.38	0	20	0.55	37.66	725
Ср3	4.17	2.78	2.13	1.76	1.31	0.08	23.64	0.23	36.11	

Таблица 5.

Результаты SVD блоков 8×8 полностью восстановленных аудио

№ п/п ЦА	Кол-во блоков, имеющих m нулевых СНЧ, по отношению к ОЧБ (%)								Z	ОЧБ
	$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$	$m=8$		
1	0.59	0	0.59	14.2	0	0	3.55	0	18.93	10000
2	2.16	0.31	1.85	0.62	8.33	0	19.4	0	32.72	19321
3	1.85	0	0	0.31	10.8	0	3.09	0	16.05	19321
4	2.89	1.03	1.65	0.62	0.21	0	17.5	0	23.97	28561
5	4.71	2.22	2.22	1.66	1.94	3.32	40.1	0	56.23	21316
6	1.00	2.00	3.00	14.0	2.00	0	15.0	0	37.00	5776
7	2.67	0	0	2.67	7.11	0	40.8	0	53.33	13225
8	7.18	2.08	2.46	1.32	1.89	0	13.4	0	28.36	31329
9	2.73	1.07	3.03	0.98	2.05	0.10	33.2	0	43.16	64009
10	3.99	2.44	2.33	2.70	1.85	0.04	47.6	0	61.02	169744
11	10.0	0	2.00	2.00	3.00	0	27.0	0	44.00	6241
12	2.93	3.32	1.79	2.30	5.10	0	54.9	0	70.41	48841
13	2.51	2.07	2.66	0.59	5.47	0.15	12.5	0	26.04	41209
14	0	0	0	4.06	0	0	8.64	0	12.70	59536
15	0	14.8	0	0	0	0	0	0	14.79	10404

16	0	0	0	0	0	31.2	12.5	0	43.75	676
17	1.44	3.19	1.13	0.13	0.69	0	10.7	0	17.31	101124
Ср3	2.75	2.03	1.45	2.83	2.97	2.05	21.2	0	35.28	38272



а



б

Рис.2. МНСЧБ, отвечающая: а – ЦИ CAMERAMAN.TIF; б – ПВ после сжатия ЦИ

4. Метод обнаружения фальсификации ЦИ

Используем полученные выше общие результаты для создания практического метода обнаружения фальсификации конкретного ЦС, изображения, проведенной определенным способом.

Будем считать, что в нашем распоряжении имеются фотоснимки, полученные современными цифровыми фотокамерами, каждый из них – это полностью восстановленное после JPEG-сжатия изображение.

Пусть часть фотоснимка, который будем называть *основным изображением* (ОИ), заменяется частью ЦИ, далее называемой *вклейкой*, или *замещающей областью* (ЗО), хранящегося в формате без потерь (для большей наглядности получаемых ниже выводов никакая последующая обработка изображения не производится). Такой

фотомонтаж, пример которого на основе изображения CAMERAMAN, намеренно явно демонстрирующий вклейку, представлен на рис.3, сохраняется без потерь. При построении МНСЧБ полученного фотомонтажа части, отвечающие ОИ и ЗО, будут отличаться: подобласть МНСЧБ, которая соответствует вклейке, хранившейся без потерь, будет, как вытекает из вышесказанного, содержать большое количество нулей и значений, мало отличающихся от нуля (на рис.4 эта часть ограничена красным).



Рис.3. Фальсифицированное ЦИ

Для детектирования ЗО необходимо выделить в МНСЧБ связные области, содержащие нули и близкие к нулю значения. Такие совокупности могут отвечать: а) вклейкам, б) областям ОИ, где малое количество нулевых СНЧ обязано округлениям, проводимым после ЧВ изображения, в) областям ОИ, у которых после квантования и ЧВ уже имелись малое количество нулевых СНЧ, т.е. областям, содержащим значительное количество контуров (это непосредственно вытекает из [15]). На рис.4 примеры областей б) и в) ограничены и помечены цифрами 1,2,3. Очевидно, что различить области а) и б), сравнивая сингулярные спектры блоков, входящих в них, не представляет труда (см. в

табл.6 – «вклейка» и «ОИ» области 1,2). Однако поведение СНЧ блоков 3-ей части ОИ качественно неотлично от поведения СНЧ блоков ЗО и никак не выделяет вклейку (табл.6).

Проведем JPEG-сжатие для смонтированного изображения. Из сказанного выше

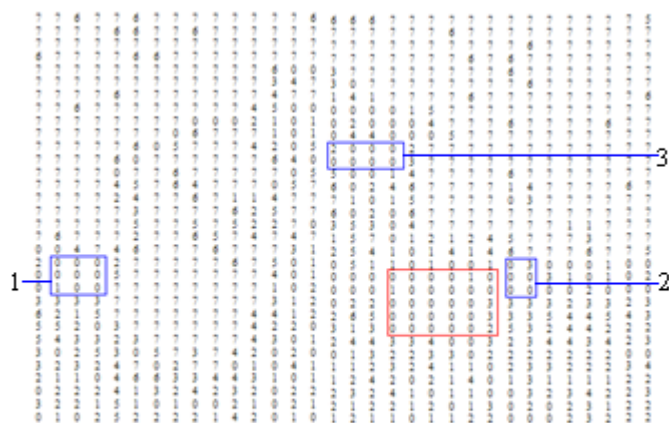


Рис.4. МНСЧБ фальсифицированного ЦИ

вытекает, что второе квантование и ЧВ не должны качественно изменить картину для сингулярных спектров блоков области З ОИ. Для вклейки процесс квантования будет первым, что приведет к значительному увеличению количества нулевых СНЧ в ее блоках и ее явному выделению.

Проиллюстрируем вышесказанное на рассматриваемом примере.

При ЧВ фотомонтажа после его JPEG-сжатия, как и ожидалось, для области З ОИ картина количества нулевых СНЧ в блоках изменилась незначительно (нулевые элементы матрицы стали 1 или 2). Для вклейки нулевые значения МНСЧБ изменились в диапазоне от 1 до 5 (рис.5).

Таким образом, если ОИ является результатом ПВ изображения после JPEG-сжатия, а ЗО - часть ЦИ, хранившегося без потерь, причем фотомонтаж сохранен без потерь (TIF, BMP), то основные шаги предлагаемого метода определения наличия вклейки и ее локализации будут следующими:

1. Матрица ЦИ разбивается стандартным образом на блоки 8×8 , для каждого блока находится сингулярный спектр, результатом чего является МНСЧБ M_1 .
2. В M_1 выделяются связные области O_1, O_2, \dots, O_m (не обязательно прямоугольные), большинство элементов которых имеют нулевое значение.
3. Из O_1, O_2, \dots, O_m удаляются те, для которых значительная часть минимальных СНЧ блоков мало отличается от нуля. Пусть $O_{k_1}, O_{k_2}, \dots, O_{k_p}$ - оставшиеся области. Если множество оставшихся областей пусто, то вклейки отсутствуют.
4. Анализируемое ЦИ подвергается сжатию с последующим ЧВ. Для матрицы ЧВ-изображения строится МНСЧБ M_2 .
5. В матрице M_2 выделяются подобласти $\bar{O}_{k_1}, \bar{O}_{k_2}, \dots, \bar{O}_{k_p}$, отвечающие $O_{k_1}, O_{k_2}, \dots, O_{k_p}$ в M_1 . Вклейкам соответствуют те из $\bar{O}_{k_1}, \bar{O}_{k_2}, \dots, \bar{O}_{k_p}$, которые содержат значительное число элементов из множества $\{3,4,5,6,7,8\}$. Если такие области не обнаруживаются, то вклейки отсутствуют.

Таблица 6.

Сингулярные спектры различных областей фальсифицированного изображения.

		Блок ЦИ	СНЧ							
Вклей- ка		(21,19)	939.0	106.2	82.7	63.2	26.6	17.9	4.2	0.2
		(22,20)	819.4	214.8	199.6	85.0	45.5	29.5	21.4	6.3
		(23,22)	1095.5	197.5	120.5	94.9	28.1	19.8	10.2	1.3
		(25,22)	1099.9	289.7	134.4	72.8	50.5	33.3	8.8	2.2
ОИ	1	(20,4)	1122.3	106.1	63.1	38.6	14.9	0.7	0.6	0.1
		(21,2)	702.8	28.2	19.2	13.2	0.8	0.5	0.2	0.1
		(21,3)	675.3	46.6	39.9	16.2	8.8	0.5	0.4	0.3
		(22,3)	1035.5	111.0	33.2	22.4	1.8	0.8	0.3	0.1
	2	(20,25)	1145.0	98.4	77.2	32.7	19.0	0.5	0.3	0.1
		(21,26)	1009.1	181.5	67.2	24.9	15.8	0.9	0.5	0.3
		(22,27)	768.9	196.0	95.1	79.8	13.2	0.6	0.4	0.1
	3	(11,18)	651.1	124.1	90.6	59.2	30.2	21.4	2.1	0.7
		(12,19)	1026.1	220.8	151.9	117.3	59.8	13.7	7.2	1.4



Рис.5. МНСЧБ частично восстановленного после сжатия фальсифицированного ЦИ

Замечание 1. 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 (рис.6). На рис.6(а) «подозрительная» часть ЦА выделена.

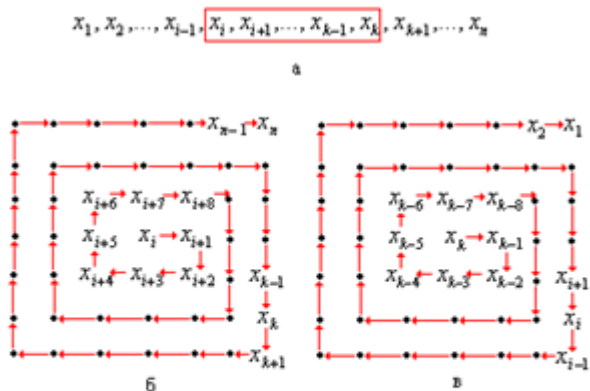


Рис.6. Переход от векторного представления ЦА к матричному спиралевидным способом: а – вектор, отвечающий ЦА; б,в – соответствующие матрицы

Замечание 2. Схема JPEG-сжатия широко используется при хранении цифровых видеосигналов – в стандарте MPEG, а некоторые используемые способы фальсификации видео аналогично рассмотренному выше [17]. Таким образом, установленные особенности СНЧ и предложенный выше метод определения фальсификации, основанный на этих особенностях, может использоваться не только для обнаружения фальсификации ЦИ и ЦА, но и адаптирован для видео.

5. Выводы

В работе разработаны математические основы нового общего подхода к проблеме выявления фальсификации ЦС, использующего представление любого ЦС в виде матрицы (матриц), основанного на анализе их СНЧ. Установленные свойства СНЧ дают возможность для отделения друг от друга ЦС или их областей, обладающих различными характеристиками, что используется при выявлении фальсификаций ЦС.

Результатом адаптации общего матричного подхода для решения конкретной задачи явилось создание практического метода выявления фальсификации ЦИ, проделанной определенным способом, который может быть применен также для ЦА и видео.

Таким образом, задачи, поставленные в работе, решены, цель достигнута.

В настоящий момент усилия авторов направлены на дальнейшую разработку предложенного подхода, включающую в себя его адаптацию для других возможных способов фальсификации ЦИ и ЦА. Особое внимание уделяется анализу видеофальсификаций.

Литература

1. Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методы и средства защиты информации. – К.: Юниор, 2003. - 501 с.
2. Kundur D., Hatzinakos D. Digital watermarking for tell-tale tamper proofing and authentication // Proceedings of the IEEE. - 1999. – Vol. 87(7). – P. 1167-1180,
3. Fridrich J., Goljan M., Du M. Invertible authentication // In SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents. - 2001.
4. Blythe P., Fridrich J. Secure digital camera // In Proc. Digital Forensic Research Workshop. - 2004.
5. 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.
6. 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.

7. Bayram S., Sankur B., Memon N. Image manipulation detection // *Journal of Electronic Imaging*. - 2006. – Vol. 15(4). – P. 1-17.
8. J.He, Z.Lin, L.Wang, X.Tang. Detecting Doctored JPEG Images Via DCT Coefficient Analysis // *ECCV(3)*. - 2006. – P. 423-435.
9. W.Wang, H.Farid. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Double MPEG Compression// *MM&Sec*. – 2006. – P. 37-47.
10. W.Wang, H.Farid. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Duplication // *MM&Sec*. – 2007. – P. 35-42.
11. Журавель В.В., Рыбальский О.В. К развитию теории выявления следов цифровой обработки сигналов // *Захист інформації*. – 2007. - №1(32). – С. 83-85.
12. 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.
13. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера, 2005.- 1072 с.
14. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ. — М.: Мир,1989. — 656 с.
15. Кобозева А.А. Связь свойств стеганографического алгоритма и используемой им области контейнера для погружения секретной информации // *Искусственный интеллект*.- 2007.- №4.- С.531-538.
16. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра. – М.: Мир, 2001. - 430 с.
17. W.Wang, H.Farid. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Double MPEG Compression// *MM&Sec*. – 2006. – P. 37-47.
18. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука. - М.: Техносфера, 2004.

Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля,
 №8(126), 2008,ч.1, с.62-72.