

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Кафедра Информационно-измерительных систем
(название кафедры)

С. Б. Узилов
(И., О., фамилия студента – автора работы)

Разработка и исследование межкадровых методов подавления шума в тепловизионных
системах наблюдения
(полное название темы магистерской диссертации)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
по направлению высшего профессионального образования
230100.68 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тема диссертации утверждена распоряжением по НГУ №57 от «8» февраля 2011 г.
Тема диссертации скорректирована распоряжением по НГУ №7 от «11» января 2012 г.

Руководитель
Борзов С. М.
(фамилия, И., О.)
К. Т. Н.
(уч. степень, уч. звание)

Новосибирск, 2013г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Кафедра Информационно-измерительных систем
(название кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Потатуркин О. И.
(фамилия, И., О.)

.....
(подпись, дата)

ЗАДАНИЕ
на магистерскую диссертацию

студент Узилов Сергей Борисович
(фамилия, имя, отчество)

факультета ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Направление подготовки 230100.68 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА

Магистерская программа Информационно-измерительные системы
(наименование)

Тема Разработка и исследование межкадровых методов подавления шума в
тепловизионных системах наблюдения
(полное название темы)

Цели работы Исследование эффективности межкадровых методов подавления шума и
разработка алгоритма, ориентированного на применение в мобильных тепловизионных
системах наблюдения.

Руководитель
Борзов С. М.
(фамилия, И., О.)
К. Т. Н.
(уч. степень, уч. звание)
.....
(подпись, дата)

Содержание

Содержание	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Обзор существующих методов подавления шума.....	6
1.1 Шум тепловизионных ФПУ.....	6
1.2 Методы подавления шума в видеопоследовательностях.....	6
1.3 Характеристики тепловизионного прицела	11
Глава 2. Методика исследования методов подавления шума. Программное обеспечение для исследования	13
2.1 Исследование эффективности алгоритмов подавления шума	13
2.2 Программное обеспечение	16
Глава 3. Исследование эффективности алгоритмов подавления шума	24
3.1 Исследование эффективности алгоритмов подавления шума	24
Глава 4. Комбинированный алгоритм подавления шума в видеопоследовательностях	35
4.1 Модифицированный алгоритм подавления шума	35
4.2 Оценка эффективности разработанного алгоритма	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	39
Список литературы.....	41

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко распространены мобильные тепловизионные системы наблюдения, и спрос на подобные устройства постоянно увеличивается. Кроме этого с развитием отрасли требования к функциональным возможностям подобных устройств растут. В частности к данному классу устройств относятся и тепловизионные прицелы для стрелкового оружия, использование которых подразумевает обнаружение и распознавание малогабаритных объектов на предельной дальности прибора. К особенностям использования данных устройств можно отнести следующее:

- ограниченная производительность аппаратной базы прибора и ограничения на энергопотребление;
- особенности тепловизионных фотоприёмников (шум, который значительно ухудшает качество изображения).

Таким образом, целью работы является исследование эффективности межкадровых методов подавления шума и разработка алгоритма, ориентированного на применение в мобильных тепловизионных системах наблюдения. Разработанный алгоритм подавления шума предполагается использовать в тепловизионном прицеле, для улучшения восприятия изображения. Ввиду того, что данное направление является достаточно узкоспециализированным, и сходу найти подходящий алгоритм не удалось, то принято решение провести работу в данном направлении. Кроме улучшения восприятия, подавление шума позволит более качественно обрабатывать изображение, например, для обнаружения целей.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- обзор существующих методов подавления шума;
- разработка программного обеспечения для исследования эффективности алгоритмов подавления шума;
- исследование эффективности внутрикадровых и многокадровых алгоритмов подавления шума;
- разработка алгоритма подавления шума с учетом специфики применения и его реализация (на ПК);
- сравнительные исследования эффективности разработанного алгоритма.

В первой главе описаны основные характеристики тепловизионного прицела и произведен обзор существующих методов подавления шума. По сути, в первой главе сделан отбор тех методов (и алгоритмов), которые представляют интерес для достижения

поставленной цели. Во второй главе подробно описана методика исследования методов подавления шума и разработанное программное обеспечение для исследования эффективности алгоритмов подавления шума. В третьей главе описан процесс исследования выбранных алгоритмов, сделаны выводы по результатам исследований. В четвертой главе на основе результатов исследования эффективности алгоритмов подавления шума предложен комбинированный межкадровый алгоритм подавления шума ориентированный на применение в мобильных тепловизионных системах наблюдения, учитывающий специфику применения. Приведены результаты анализа предложенного алгоритма и показано, что предложенный алгоритм по степени подавления шума не уступает большинству рассмотренных алгоритмов, но при этом является почти наименее трудоемким среди исследуемых алгоритмов.

Глава 1. Обзор существующих методов подавления шума

1.1 Шум тепловизионных ФПУ

Системам наблюдения, построенным на базе тепловизионных фото-приемных устройств (ФПУ) приходится решать проблемы связанные с качеством получаемого с них сигнала. Дело в том, что технология производства тепловизионных матриц не позволяет изготовить матрицу из абсолютно идентичных элементов, таким образом, изображение, полученное с такой матрицы, содержит пространственную неоднородность. Пространственные искажения изображения являются следствием отличающихся друг от друга чувствительности и темнового тока элементов матрицы. Кроме пространственной неоднородности существует проблема временной нестабильности фотоэлементов, в результате которой получаемая видеопоследовательность содержит временной шум. Пространственная неоднородность обычно удаляется коррекцией сигнала от элементов ФПУ [1]. Корректировочные коэффициенты определяются на этапе калибровки прибора. Для мобильных систем наблюдения временной шум представляет большую проблему, чем пространственная неоднородность, особенно в случаях, когда оператору необходимо обнаружить объект изображение, которого представляет всего несколько низкоконтрастных пикселей.

1.2 Методы подавления шума в видеопоследовательностях

Подавление шума – одна из самых распространенных функций, выполняемая с целью улучшить визуальное качество получаемых системами наблюдения изображений. На сегодняшний день разработано большое количество различных алгоритмов, реализующих разные способы подавления шума.

Сначала отметим, что все алгоритмы подавления шума в видеопоследовательности можно разделить на два класса: пространственные (т.е. подавление шума основано на использовании одного кадра) и пространственно-временные (т.е. подавление шума основано на использовании нескольких кадров). Следует отметить, что любой пространственный алгоритм подавления шума может быть использован в составе пространственно-временного алгоритма. Также целесообразно выделить в отдельный подкласс пространственно-временные фильтры, использующие различные варианты компенсации движения.

Рассмотрим более подробно каждый из классов.

Внутрикадровые методы подавления шума

В настоящее время существует много внутрикадровых методов подавления шума [2 С. 342-346, 3 С. 158-160, 4], такое разнообразие обусловлено широким спектром задач, в которых необходимо подавить шум: требованиями к производительности и ресурсоемкости используемых алгоритмов, природой шума и, конечно же, требуемым для той или иной задачи качеством шумоподавления. Рассмотрим наиболее известные внутрикадровые методы подавления шума.

Усредняющий фильтр

Алгоритм работы усредняющего фильтра заключается в замене значения яркости в текущем пикселе на среднюю яркость, вычисленную по его 8 окрестностям, включая и сам элемент. Этот фильтр является самым простым. К недостаткам его можно отнести сглаживание ступенчатых и пилообразных функций (размытие мелких деталей изображения). Кроме того пиксели, имеющие существенно отличное значение яркости и являющимися шумовыми могут вносить значительный вклад в результат обработки.

Пороговый фильтр

Пороговый фильтр является модификацией усредняющего, и отличие заключается том, что замена значения яркости на среднее производится только в том случае, если разность между значением яркости и полученным средним превышает установленный порог.

Медианная фильтрация

Алгоритм работает следующим образом: для каждого пикселя в некотором его окружении (окне) ищется медианное значение и присваивается этому пикселю. Определение медианного значения: если массив пикселей отсортировать по их значению, медианой будет серединный элемент этого массива. В зависимости от длины массива берется серединный элемент, если длина нечетная, или среднее значение серединной пары элементов при четной длине массива.

Адаптивный медианный фильтр

Теперь рассмотрим адаптивный вариант медианного фильтра [5]. Суть метода заключается в динамическом изменении размеров окна. Обычно такие алгоритмы принимают в качестве параметров минимальный и максимальный размер окна. Итеративным способом, начиная с минимального размера окна, если перепады яркости пикселей внутри этого окна меньше некоторого порога, то размер окна увеличивается на

единицу. Таким образом, фильтр в меньшей степени искажает границы объектов и в тоже время более качественно подавляет шум на монотонных областях изображения.

Переключающийся медианный фильтр

Данный фильтр ориентирован на удаление шума вида соль-перец. Отличие от обычного медианного фильтра состоит лишь в том, что алгоритм сначала выявляет присутствие шума и, если шум есть, то подавляет его, иначе оставляет без изменений. Выявление шума может делаться различными способами, как вариант возможен следующий: текущий пиксель сравнивается с медианой текущего окна и если модуль разности этих значений меньше некоторого порога, то пиксель «хороший» иначе обнаружен шум.

Не трудно заметить, что перечисленные выше варианты медианного фильтра это лишь «адаптация» медианного фильтра к различным видам шума и различным типам изображений. Кроме этого существуют еще модификации алгоритма медианной фильтрации, которые тоже ориентированы для решения определенных задач.

Спектральные фильтры

Далее рассмотрим методы, в основе которых лежит дискретное вейвлет-преобразование. Метод заключается в следующем: сначала исходное изображение подвергают прямому дискретному вейвлет-преобразованию, далее полученные коэффициенты фильтруют и завершающим этапом делают обратное вейвлет-преобразование. Характеристики данного метода во многом зависят от применяемых вейвлет-функций. Следует заметить, что прямое и обратное вейвлет-преобразование являются достаточно трудоемкими операциями. Кроме вейвлетов могут применяться дискретное преобразование Фурье и дискретное косинусное преобразование. Данный класс методов не будет подробно рассматриваться в силу того, что интересующие нас объекты в спектральной области находятся в подавляемой части спектра, кроме этого данный класс алгоритмов достаточно трудоемкий для реализации в мобильных устройствах.

Общей чертой внутрикадровых методов является то, что они не предназначены для подавления временного шума в видеопоследовательностях. Таким образом, необходимо рассмотреть межкадровые методы подавления шума.

Межкадровые методы подавления шума

Теперь перейдем к межкадровым (пространственно-временным) методам подавления шума [6].

Обычно данные алгоритмы работают следующим образом: в результирующий кадр записывается либо среднее значение пикселя, полученное по нескольким кадрам, либо их взвешенная сумма (коэффициенты, которой могут быть получены различными способами).

Таким образом, межкадровые методы условно можно разделить на несколько типов, в зависимости от способа получения усредняемых кадров:

- без компенсации движения,
- с компенсацией глобального движения (движения камеры/сцены),
- с компенсацией локального движения (движение объектов),
- с «частичной» компенсацией движения (подавление шума производится на участках изображения, на которых не обнаружены изменения).

Далее перечисленные типы рассматриваются более детально.

Без компенсации движения

В данном случае берется под последовательность кадров из исходной видеопоследовательности, и выходной кадр получается усреднением значений пикселя во времени (т.е. значений пикселя в одной позиции в разных кадрах). Данный метод хорош при подавлении шума в видеопоследовательностях с отсутствием какого-либо движения, в противном случае движущиеся объекты смазываются.

С компенсацией глобального движения

Алгоритмы с компенсацией движения обычно состоят из двух частей: анализ движения и построения скомпенсированного кадра. Анализ движения заключается в построении векторов движения, с использованием которых на следующем этапе будет производиться компенсация движения.

Для алгоритма компенсации глобального движения анализ движения состоит в том, что бы определить вектор глобального смещения. Вектор глобального смещения может отыскиваться различными способами, например, можно взять некоторую область одного кадра и искать ее в другом кадре, затем вычислить смещение – это смещение и будет искомым вектором. Кроме этого способа существуют методы на основе Фурье преобразовании. К быстрым же методам обычно относят методы использующие множество векторов кандидатов.

Используя полученный на предыдущем шаге вектор движения, используется для построения скомпенсированного кадра.

С компенсацией локального движения

Алгоритмы компенсации локального движения в своем большинстве являются блочными [7, 8], таким образом, в общих чертах процесс компенсации локального движения выглядит следующим образом. Кадр разбивается на блоки и каждому блоку ищется соответствующая область в другом кадре. В конечном счете, результатом анализа движения является поле векторов смещения каждого блока. Существует множество алгоритмов поиска соответствующей блоку области. Остановимся подробнее на алгоритмах, использующих множество векторов кандидатов.

Основная идея алгоритмов этой группы очень проста. Перед вычислением информации о движении для текущего блока формируется набор, состоящий из уже вычисленных векторов движения соседних блоков. При этом соседние блоки могут выбираться как в пространственной области, так и во временной. Сформированный набор векторов называется набором кандидатов. В качестве вектора движения в каждом блоке выбирается лучший вектор из набора кандидатов. В качестве критерия поиска обычно используется функция соответствия. Наиболее яркими представителями алгоритмов данной группы являются 3DRS и E3DRS (Enhanced 3DRS).

Метод 3DRS (3D recursive search) формирует набор векторов-кандидатов из найденных векторов движения со смещениями $(-1, -1)$ и $(1, -1)$ в текущем кадре и $(-2, 2)$, $(2, 2)$ в предыдущем кадре. К первым двум векторам-кандидатам прибавляется равномерно распределенный случайный вектор с амплитудой до ± 3 пикселей. После этого из полученных кандидатов выбирается вектор с наименьшей SAD. Использование векторов-кандидатов, взятых с различных направлений, позволяет методу 3DRS достаточно быстро сходиться к реальному направлению движения вблизи границ объектов, по сравнению с более простыми методами.

В методе E3DRS используется похожий набор векторов-кандидатов, однако здесь имеется стадия дополнительного поиска вектора с наилучшей SAD по шаблону «малый квадрат» вокруг выбранного вектора-кандидата. Это обеспечивает лучшие величины SAD, чем у метода 3DRS.

Методы, использующие векторы-кандидаты, часто имеют низкую вычислительную сложность, но при этом обеспечивают гладкость векторного поля, что делает их пригодными для использования в аппаратуре реального времени.

После того как поле векторов смещений построено, строится скомпенсированный кадр, причем строить его можно как минимум двумя способами: попиксельно, вычисляя интерполированный вектор движения каждого пикселя, так и поблочно.

С «частичной» компенсацией движения

Суть алгоритма заключается в «детектировании» движения и происходит это следующим образом. Кадры видеопоследовательности делятся на блоки и соответствующие блоки в разных кадрах сравниваются между собой, если блоки «похожи», то значит, движения в блоке не было и данный блок можно использовать для подавления шума, иначе движение было в блоке и его нельзя использовать для подавления шума.

Исследуемые алгоритмы

Внутрикадровые методы подавления шума достаточно хорошо справляются с поставленными перед ними задачами, но общий недостаток этих методов состоит в искажении (а возможно и устранении) низкоконтрастных изображений малоразмерных объектов, наблюдаемых на предельной дальности. Тогда как зачастую именно такие объекты являются целью наблюдения. Таким образом, исследовать все возможные модификации внутрикадровых алгоритмов – нет необходимости, в тоже время для полноты исследования необходимо исследовать хотя бы один алгоритм. Наиболее подходящим кандидатом является **медианная фильтрация**.

В то время, как межкадровые методы с компенсацией движения выглядят более предпочтительно, тем не менее, у них тоже есть недостаток в контексте решаемой задачи – относительно высокая трудоемкость. Менее трудоемкие алгоритмы без компенсации движения тоже не подходят вследствие присутствующего в видеопоследовательности тремора.

Таким образом, далее более подробно будут анализироваться методы межкадрового подавления шума: с компенсацией глобального движения, локального и «частичной» компенсацией.

1.3 Характеристики тепловизионного прицела

Работа проводится по инициативе НФ ИФП СО РАН «КТИ ПМ». В данной лаборатории разрабатывают прибор ТБ-4-50 [9], его основные характеристики приведены в таблице 1.1, фотографию прибора можно увидеть на рисунке 1.1.

Анализ видеоматериалов записанных с данного тепловизионного прибора при решении задачи обнаружения ростовой фигуры человека в условиях реальной фоноцелевой обстановки, показал наличие определенной специфики получаемых данных. Поскольку целью наблюдения является поиск и последующий анализ формы слабоконтрастного малоразмерного изображения объекта, оператор, как правило,

сосредотачивает свое внимание на центральной части кадра и медленно осматривает сектор наблюдения. Затем, сконцентрировавшись на определенном фрагменте и пытаясь максимально сохранять направление визирования, в течение некоторого времени вглядывается в изображение объекта, привлекшего его внимание, что бы принять требуемое решение. При этом, поскольку объект интереса находится на предельной дальности обнаружения, его изображение описывается несколькими пикселями. В данной ситуации наличие даже незначительного аппаратного шума фотоприемного устройства приводит к ухудшению эффективности поиска.

Характеристика	Значение
Формат матрицы	640x480
Поле зрения	18 ⁰ x 13.6 ⁰
Минимально обнаруживаемая dT	0.1 ⁰ C
Диапазон рабочих температур	-40...+50 ⁰ C
Длительность работы без перезарядки	3.8 часа
Энергопотребление	3 Вт
Масса с аккумулятором, без кронштейна	1.3 кг
Габариты с наглазником, без кронштейна	271x87x76 мм
ДАЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ	
Распознавание ростовой фигуры солдата	800 м
Обнаружение движущейся ростовой фигуры	1600 м
Обнаружение движущегося транспорта	5000 м

Таблица 1.1. Характеристики прибора ТБ-4-50.



Рисунок 1.1. Неохлаждаемый тепловизионный прицел для стрелкового оружия ТБ-4-50, производства НФ ИФП СО РАН «КТИ ПМ».

Глава 2. Методика исследования методов подавления шума.

Программное обеспечение для исследования

2.1 Исследование эффективности алгоритмов подавления шума

Методика исследования методов подавления шума

Общая схема исследования эффективности алгоритмов шумоподавления выглядит следующим образом (рис. 2.1). Сначала на исходную видеопоследовательность накладывается шум с заданными параметрами. Далее зашумленная видеопоследовательность обрабатывается исследуемыми алгоритмами, и видеопоследовательности с подавленным шумом сравниваются с исходной видеопоследовательностью. Для оценки эффективности алгоритмов предложено использовать следующие критерии:

- трудоемкость алгоритма;
- степень подавления шума;
- степень снижения контраста целевого объекта.

В качестве метрики для численной оценки степени подавления шума выбрана метрика PSNR (Peak signal-to-noise ratio). Выбор данной метрики обусловлен ее широким применением в данной области (например, [10, 11]), в частности данную метрику используют для оценки вносимых искажений при сжатии с потерями видеопоследовательностей различными видеокодеками. PSNR измеряется в дБ.

$$PSNR(I_1, I_2) = 10 \log_{10} \left(\frac{N^2}{\langle |I_1(i,j) - I_2(i,j)|^2 \rangle} \right) \quad (2.1)$$

Ввиду того, что трудоемкость сложных алгоритмов, использующих компенсацию локального движения, может существенно меняться в зависимости от обрабатываемой видеопоследовательности, а оценка снизу является очень грубой, то принято решение в качестве численной оценки трудоемкости алгоритмов использовать количество обрабатываемых кадров в секунду (FPS – frame per second). Полученную производительность из FPS преобразовывать в трудоемкость путем деления единицы на значение FPS с последующим делением на максимальное значение среди исследуемых алгоритмов. Для представления результата в процентной форме достаточно помножить полученное значение на 100%. Таким образом, в результате исследования полученные значения оценки характеризуют относительную трудоемкость алгоритмов, т.к. все исследования проведены на одном ПК с постоянной вычислительной

производительностью. Причем 100% относительной трудоемкости будут соответствовать самому сложному алгоритму.

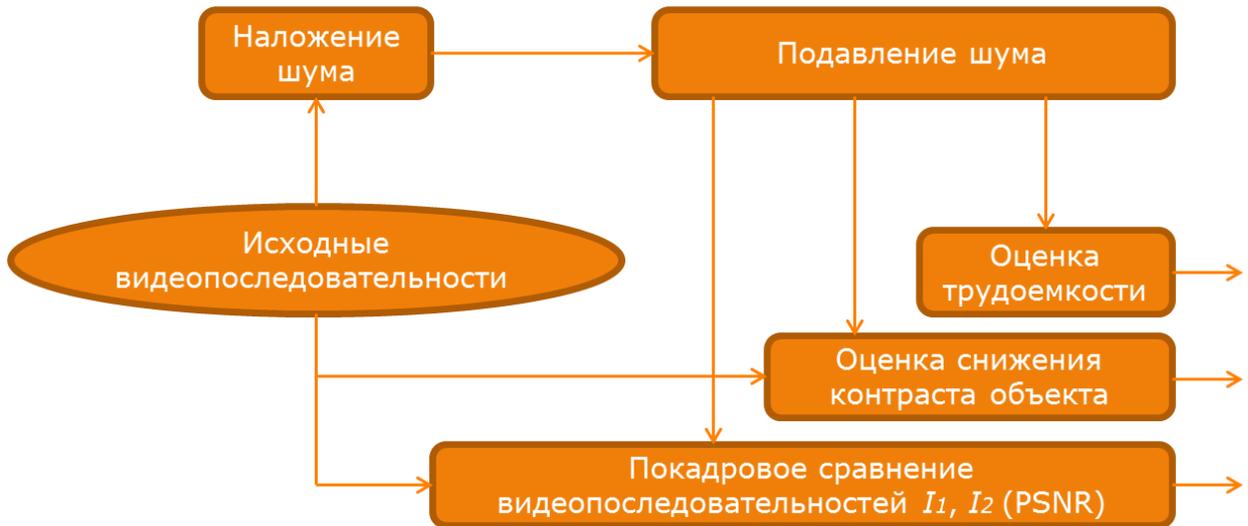


Рисунок 2.1. Блок-схема методики исследования алгоритмов подавления шума.

В процессе выполнения работы было обнаружено, что некоторые алгоритмы в большей степени искажают целевой объект, несмотря на то, что степень подавления шума у них выше (особенно хорошо заметно на медианном фильтре). Для численной оценки искажений целевого объекта принято решение использовать степень снижения контраста целевого объекта вычисляемую следующим образом:

$$K(O) = \frac{\langle I_o(i,j) \rangle - \langle I_b(i,j) \rangle}{\langle I_o(i,j) \rangle + \langle I_b(i,j) \rangle} \quad (2.2)$$

Для получения степени снижения контраста необходимо формулу 2.2 применить к исходной видеопоследовательности и обработанной, потом их разность поделить на контраст исходного и умножить на 100%. В результате получаем на сколько процентов снизился контраст исходного объекта после подавления шума.

Методика эксперимента

Изображения, получаемые с тепловизионных ФПУ содержат информацию только об интенсивности излучения (яркости), и не содержат информацию о цвете, таким образом, для исследования эффективности методов подавления шума более предпочтительно обрабатывать видеопоследовательности в формате YV12, так как данный формат предполагает хранение информации о яркости каждого пикселя и цвете каждого блока (нескольких пикселей). Кроме этого, формат YV12 достаточно широко используется и для работы с этим форматом существует большое количество программ, в том числе и бесплатно распространяемых.

На первом этапе эксперимента необходимо выбрать исходные видеопоследовательности для исследования эффективности методов подавления шума. В качестве исходных данных были использованы несколько видеопоследовательностей полученных в условиях реальной съемки с тепловизионного прибора. Предоставленные данные нарезаны на видеофрагменты (клипы) различного содержания: с преобладанием движения камеры (глобальное движение), с преобладанием движения объектов, с объектом на предельной дальности обнаружения. Видеофрагменты различных типов необходимы для оценки эффективности алгоритма подавления шума на различных исходных данных, так как эффективность алгоритмов, особенно с компенсацией движения, во многом зависит от характера исходной видеопоследовательности.

На втором этапе на исходные видеопоследовательности накладывается Гауссов шум, содержащий мультипликативную и аддитивную составляющие. Для предотвращения переполнения при наложении шума яркость исходной видеопоследовательности необходимо «сжать» таким образом, чтобы значение зашумленного пикселя можно было сохранить в формате YV12 без переполнения. Поэтому этап наложения шума состоит из двух частей: подготовка видеопоследовательности к наложению шума и непосредственно наложение шума.

На третьем этапе оценивается эффективность алгоритмов подавления шума, которая во многом зависит от используемых параметров, в свою очередь параметры, как правило, подбираются в зависимости от характера видеопоследовательности и характеристик шума. Поэтому для полноты эксперимента необходимо провести исследование различных сочетаний типов видеопоследовательностей, параметров шума и параметров алгоритмов. Таким образом, при исследовании пяти алгоритмов на трех исходных видеопоследовательностях и различными параметрами шума и алгоритмов в итоге получается более сотни экспериментов, а с учетом того, что в процессе работы может потребоваться внести изменения в любой параметр или исследовать алгоритмы на других видеопоследовательностях, то за весь период работы могут накопиться десятки тысяч экспериментов. Поэтому во избежание ошибок вызванных человеческим фактором этот процесс решено автоматизировать с помощью программного обеспечения.

В процессе подавления шума исследуемым алгоритмом вычисляется его средняя на видеофрагмент трудоемкость. Эта процедура выполняется следующим образом: сначала подсчитывается среднее количество обрабатываемых кадров в секунду, далее единицу делим на полученное значение. Полученный результат делим на максимальное значение среди всех полученных, таким образом получаем относительную трудоемкость.

После подавления шума исследуемым алгоритмом видеопоследовательность с подавленным шумом покaдрово сравнивается с исходной видеопоследовательностью с использованием метрики PSNR и вычисляется среднее значение для всей видеопоследовательности.

Оценка снижения контраста целевого объекта выполняется на видеопоследовательности, которая получена при съемке человека на предельной дальности прибора следующим образом: после выполнения всех вышеперечисленных процедур рассчитывается среднее значение контраста объекта на исходной видеопоследовательности и видеопоследовательности после подавления шума. После вычисления исходного контраста объекта и контраста после подавления шума вычисляется их разность, которая затем нормируется на значение контраста в исходной видеопоследовательности. Область, по которой вычисляется контраст объекта, определяется экспериментально таким образом, что не содержит других объектов. Процедура вычисления контраста выполняется только для одной видеопоследовательности.

2.2 Программное обеспечение

Для исследования эффективности алгоритмов подавления шума разработано программное обеспечение позволяющее автоматизировать наиболее утомительные для человека операции. В основе программного комплекса использована программа Avisynth¹, выбор именно этой программы не случаен. Дело в том, что Avisynth – достаточно гибкое ПО разработанное для работы с видеопоследовательностями. Avisynth имеет программный интерфейс, позволяющий разрабатывать и использовать модули реализующие недостающую в базовом комплекте функциональность. Ввиду широкой популярности данной программы существует множество плагинов (плагин - независимо компилируемый программный модуль, динамически подключаемый к основной программе и предназначенный для расширения её возможностей), которые реализуют различные методы подавления шума (в том числе и методы с компенсацией глобального/локального движения), модули для определения производительности различных процедур обработки видеопоследовательности и другую полезную функциональность. Avisynth работает следующим образом: на вход программы подается скрипт, содержащий последовательность процедур выполняемых над исходными данными, различные параметры и другую необходимую информацию. По сути, скрипт описывает конвейер, через который будет пропущена исходная видеопоследовательность.

¹ http://avisynth.org/mediawiki/Main_Page

На выходе программа выдает видеопоток, который может быть открыт любой программой для просмотра видео. Кроме этого данный подход позволяет существенно минимизировать участие оператора при обработке данных за счет того, что при наличии нескольких сценариев (скриптов) обработки видеопоследовательностей они могут быть добавлены в список воспроизведения программы воспроизведения видео и далее последовательно обработаны без вмешательства оператора. В процессе исследований этот прием был успешно использован. Таким образом, Avisynth позволяет не тратить время на разработку и отладку наиболее общей функциональности связанной с обработкой видеопоследовательностей, в том числе и на реализацию наиболее распространенных алгоритмов подавления шума (т.к. сообществом пользователей этой программы разработано много модулей, реализующих различные методы подавления шума, компенсации движения и бесплатно распространяемых).

Для выполнения намеченных исследований был разработан программный комплекс, в состав которого вошли следующие модули:

1. модуль позволяющий накладывать шум с заданными параметрами;
2. генератор скриптов (автоматизация процесса создания скриптов);
3. модуль сравнения двух видеопоследовательностей, использующий метрику PSNR;
4. модуль оценки снижения контраста целевого объекта;
5. обработчик/анализатор отчетов формируемых модулем сравнения двух видеопоследовательностей.

Разработка следующих модулей: наложение шума, сравнение двух видеопоследовательностей выполнена в виду того, что существующие модули, позволяющие накладывать шум и сравнивать видеопоследовательности, ориентированы на классические форматы видеопоследовательностей, а наша задача заключается в работе с видеопоследовательностями, полученными с тепловизионного прибора, т.е. с одним каналом (яркость). Таким образом, для исключения ошибок вызванных использованием цветных каналов были реализованы модули: наложения шума и сравнения видеопоследовательностей. Кроме этого реализация этих модулей позволила сохранять и анализировать промежуточные данные, что было весьма полезно во время исследования алгоритмов подавления шума.

В качестве реализаций исследуемых алгоритмов были использованы бесплатно распространяемые модули для программы Avisynth:

- модуль пространственной медианной фильтрации,
- модуль пространственно-временной медианной фильтрации,

- модуль компенсации глобального движения,
- модуль компенсации локального движения.

Выше перечисленные модули позволили реализовать следующие исследуемые алгоритмы подавления шума:

- пространственная медианная фильтрация,
- пространственно-временная медианная фильтрация,
- пространственно-временная медианная фильтрация с компенсацией глобального движения,
- накопление с компенсацией глобального движения,
- накопление с компенсацией локального движения.

Кроме этого использован сторонний модуль оценки производительности выполняемых в сценарии процедур. Данный модуль позволяет узнать среднее количество обрабатываемых последовательностью процедур скрипта кадров в секунду.

Теперь более подробно рассмотрим каждую разработанную компоненту программы для исследования эффективности алгоритмов подавления шума.

Генератор шума

Для решения поставленной задачи необходим генератор шума. Обычно для исследования шумоподавляющих фильтров на исходную видеопоследовательность накладывают в качестве шума случайную величину с гауссовским распределением, т.к. физическая величина, подверженная влиянию значительного числа случайных помех, часто подчиняется нормальному распределению, поэтому из всех распределений в природе чаще всего встречается нормальное распределение.

$$\Phi_{\alpha, \sigma^2}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\alpha)^2}{2\sigma^2}} dt, \text{ где} \quad (2.3)$$

α – математическое ожидание случайной величины x ,

σ^2 – дисперсия случайной величины x .

Для получения случайной величины с помощью ЭВМ в задачах, не требующих криптографической стойкости, обычно используют линейный конгруэнтный метод.

$$X_{k+1} = (aX_k + c) \bmod m, \text{ где} \quad (2.4)$$

a, c – некоторые целочисленные коэффициенты,

m – натуральное число.

Получаемая случайная величина X имеет равномерное распределение.

Если требуется число вызовов, превышающее по порядку 10^8 , то для этого случая L'Esuyer рекомендует комбинировать вывод двух последовательностей с близкими, но отличающимися константами.

Теперь с помощью преобразование Бокса — Мюллера, равномерно распределенную случайную величину можно преобразовать в нормально распределенную величину по следующим формулам:

$$Z = \cos(2\pi X)\sqrt{-2 \ln Y}, \text{ где} \quad (2.5)$$

X, Y - две равномерно распределенных случайных величины на интервале $(0, 1]$,

Z - нормально распределенная случайная величина с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

$$E = \sigma Z + \mu, \text{ где} \quad (2.6)$$

Z - нормально распределенная случайная величина с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

E - нормально распределенная случайная величина с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 .

Используя формулу (2.6) получаем из нормально распределенной случайной величины с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 нормально распределенную случайную величину с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 .

Генератор скриптов

Назначение генератора скриптов – автоматизация процесса формирования скриптов по исходным данным (шаблонам). Один скрипт описывает процесс эксперимента для одного алгоритма с заданными параметрами, исходной видеопоследовательностью и характеристиками шума. В свою очередь данный модуль позволяет в шаблонах задавать различные параметры алгоритмов, характеристики шума, исходные видеопоследовательности и в результате его работы получать множество скриптов, включающее в себя всевозможные комбинации алгоритмов (с различными параметрами), исходных видеопоследовательностей и параметров шума.

Реализован данный модуль на языке программирования Java. На вход модулю подаются файлы конфигурации, шаблона скрипта, шаблона скрипта алгоритма. Модуль работает следующим образом. Для генерирования скрипта задается два шаблона, первый по сути реализует методику эксперимента, а второй содержит специфичные для каждого алгоритма параметры. Кроме этого, дополнительные параметры генерирования указываются в конфигурационном файле (*generator.ini*):

- рабочая директория (*%ROOT%*);

- директория, в которой содержатся файлы шаблонов алгоритмов (`%FILTER_TEMPLATE_DIRECTORY%`);
- директория, в которой содержатся исходные видеопоследовательности (`%CLIP_ROOT%`);
- имена исходных видеопоследовательностей, для которых нужно сгенерировать скрипты (`%CLIP_NAMES%`);
- степень «сжатия» канала яркости (`%PRESS_LEVEL%`);
- начальный уровень шума (`%NOISE_LEVEL%`);
- минимальный уровень шума (`%NOISE_LEVEL_MIN%`);
- максимальный уровень шума (`%NOISE_LEVEL_MAX%`);
- шаг, с которым будет изменяться шум (`%NOISE_LEVEL_STEP%`);
- директория, в которой будут сохранены файлы отчетов результатов сравнения исходных и обработанных видеопоследовательностей (`%REPORT_ROOT%`);
- формат имен файлов отчетов (`%CLIP_RESULT_NAME%`).

Ниже приведен пример файла конфигурации (*generator.ini*):

```

%ROOT% = "d:\avs_root\"
%FILTER_TEMPLATE_DIRECTORY% = "templates\"
%CLIP_ROOT% = "video\"
%CLIP_NAMES% = "video_2.avi video_3.avi"
%PRESS_LEVEL% = 0.9
%NOISE_LEVEL% = 0.9
%NOISE_LEVEL_MIN% = 0.9
%NOISE_LEVEL_MAX% = 1
%NOISE_LEVEL_STEP% = 0.05
%REPORT_ROOT% = ""
%CLIP_RESULT_NAME% = "%s_%s_%s_%f_%f_clip.csv"

```

Следует обратить внимание, что `%PRESS_LEVEL%`, `%NOISE_LEVEL%`, `%NOISE_LEVEL_MIN%`, `%NOISE_LEVEL_MAX%`, `%NOISE_LEVEL_STEP%` являются коэффициентами в диапазоне [0, 1]. Причем дисперсия шума (как аддитивной, так и мультипликативной составляющей) рассчитываются автоматически из расчета, что половина доверительного интервала случайной величины (1,5 сигмы) укладывается в $(1 - \%NOISE_LEVEL\%)$ диапазона значений пикселя. Если в процессе генерирования случайной величины получаемое значение выходит за предел доверительного интервала, то вместо него генерируется другое до тех пор пока оно не попадет в доверительный интервал. Поэтому дисперсия шума уменьшается с увеличением `%NOISE_LEVEL%`.

Далее рассмотрим файл шаблона, который описывает методику эксперимента. Данный шаблон содержит процедуры - общие для всех алгоритмов: открытие исходного файла видеопоследовательности, его преобразование в рабочий формат (YV12), «сжатие» канала яркости, наложение шума, подавление шума и сравнение результатов работы фильтра с исходной видеопоследовательностью. Кроме этого в данном шаблоне указываются переменные, которые будут заполнены из шаблона фильтра. Такой подход позволяет оперативно добавлять в исследование новые алгоритмы и при этом добавленные алгоритмы будут исследованы по общей методике. Ниже приведен пример шаблона с комментариями (*Template avs*):

```
# Список подключаемых модулей
LoadPlugin("Noise.dll")
# Список подключаемых модулей необходимых соответствующим модулям
подавления шума
%DLL_LIST%

# Открытие исходного источника видеопоследовательности
src = AviSource("%CLIP_PATH%")
# Преобразование в формат в котором будет вестись дальнейшая обработка
clip_yv12 = ConvertToYV12(src)
# «Сжатие» канала яркости
clip_src_picture = PressClip(clip_yv12, %PRESS_LEVEL%)
# Наложение шума
clip_noise_picture = NoiseGenerator(clip_src_picture, %NOISE_LEVEL%)

# Инициализация фильтра
%FILTER_INITIALIZATION%

# Подавление шума
clip_filter = %FILTER_FUNCTION_NAME%(clip_noise_picture%FILTER_ARGS%)
# Сравнение исходной и обработанной видеопоследовательностей
clip_compare_filter = CompareClips(clip_src_picture, clip_noise_picture, clip_filter,
%CLIP_RESULT_PATH%)
```

Пример наглядно демонстрирует, что при генерировании скрипта часть параметров берется из конфигурационного файла (%CLIP_PATH%, %PRESS_LEVEL%, %NOISE_LEVEL%, %CLIP_RESULT_PATH%), а другая часть из файла шаблона фильтра (%DLL_LIST%, %FILTER_INITIALIZATION%, %FILTER_FUNCTION_NAME%, %FILTER_ARGS%).

Теперь рассмотрим файл шаблона фильтра. Данный шаблон реализован, чтобы исключить из шаблона реализации методики эксперимента индивидуальные параметры настройки алгоритма, при этом сохранив гибкость настройки каждого исследуемого алгоритма. Шаблон фильтра содержит следующие переменные:

- %FILTER_FUNCTION_NAME% - имя процедуры подавления шума;

- *%DLL_LIST%* - список необходимых фильтру модулей;
- *%FILTER_EVENT_NAME%* - имя используемое для генерирования имен файлов отчетов;
- *%FILTER_INITIALIZATION%* - список процедур, которые необходимо выполнить для инициализации фильтра;
- *%FILTER_ARGS%* - параметры фильтра;

Следует заметить, что блок содержащий переменные *%FILTER_EVENT_NAME%*, *%FILTER_INITIALIZATION%*, *%FILTER_ARGS%* может повторяться в шаблоне фильтра неограниченное количество раз, директивой конца файла шаблона является *%END%*. Таким образом, для каждого сочетания блока и параметров, указанных ранее в конфигурационном файле и шаблоне эксперимента будет сгенерирован скрипт. Поэтому можно легко добавить необходимую конфигурацию фильтра изменив всего один файл шаблона фильтра. Данная возможность была по достоинству оценена в процессе исследования алгоритмов.

В результате работы модуля в указанной директории сохраняются скрипты для программы Avisynth, в которых содержится вся информация о параметрах и методике эксперимента.

Модули для оценки эффективности алгоритмов и анализатор отчетов

Модуль сравнения двух видеопоследовательностей разработан для сохранения промежуточных данных (значений PSNR двух кадров видеопоследовательностей исходной и обработанной) в файл, для дальнейшего анализа этих данных. Модуль производит пок кадровое сравнение с использованием метрики PSNR (см. формулу 2.1) и результаты для каждой пары (исходного и обработанного) записывает в файл отчета в формате CSV. Использование CSV формата позволяет использовать сторонние программы, например, MS Excel для анализа результатов. В качестве входных параметров помимо видеопоследовательностей принимает имя файла, в который будут записаны результаты. Эти параметры указываются при генерировании файлов скриптов.

Анализатор отчетов выполняет рутинную работу по вычислению средних значений PSNR для каждого файла отчета. Так как в имени файла отчета содержится следующая информация:

- уникальное имя фильтра, содержащее информацию о его параметрах (*%FILTER_EVENT_NAME%*);
- имя исходной видеопоследовательности;
- параметры наложенного шума (*%NOISE_LEVEL%*).

Данный модуль формирует итоговый отчет содержащий среднее значение по всем кроме первых и последних пяти кадров (такая реализация позволяет исключить ошибки связанные с инициализацией многокадровых методов подавления, например, построение векторов полей смещений для компенсации локального движения), результат записывает итоговый файл отчета (в формате CVS), имя которого указывается во входных параметрах. По завершению работы анализатора отчетов в итоговый файл отчета помещается таблица содержащая результаты всех экспериментов: средние значения PSNR для каждого эксперимента.

Модуль оценки снижения контраста объекта работает следующим образом: на вход получает область (экспериментально установленную), в которой находится объект, далее вычисляется его контраст по формуле (2.2) и результат записывается в файл формата CVS. Снижение контраста вычисляется, как разность исходного контраста и контраста объекта после подавления шума и далее нормируется на значение контраста исходного объекта, эти процедуры выполняются помощью электронных таблиц MS Excel.

Глава 3. Исследование эффективности алгоритмов подавления шума

3.1 Исследование эффективности алгоритмов подавления шума

Так как различные алгоритмы могут по-разному работать на различных видеопоследовательностях [12]. Например, алгоритмы использующие компенсацию глобального движения, покажут результат хуже на последовательностях, в которых преобладают многочисленные движения малогабаритных объектов, чем в которых отсутствуют такие движения. Для учета поведения алгоритмов на различных видеопоследовательностях исследование проводилось на трех типах исходных видеопоследовательностях:

- с преобладанием движения камеры (глобальное движение сцены)
- с преобладанием движения объектов
- целевая видеопоследовательность обнаружения объекта.

Оценка эффективности алгоритмов выполнена путем анализа результатов подавления шума на трех видеопоследовательностях длительностью 400 кадров размером 640x480 пикселей, 256 градаций яркости. Все видеопоследовательности зарегистрированы в реальных условиях с использованием одного и того же болометрического тепловизионного прибора производства НФ ИФП СО РАН (КТИПМ). Необходимо отметить, что съемка осуществлялась без применения штатива (с рук), по этой причине во всех последовательностях наблюдаются смещения изображений от кадра к кадру, однако все же параметры последовательностей различны. Для последовательности №1 (рис. 3.1) характерны значительные межкадровые смещения, вызванные движением камеры, для №2 (рис. 3.2) - движение достаточно крупных объектов в поле зрения, последовательность №3 (рис. 3.3) зарегистрирована при обнаружении ростовой фигуры человека на предельной дальности, она практически статическая с незначительными смещениями изображений сцены от кадра к кадру.

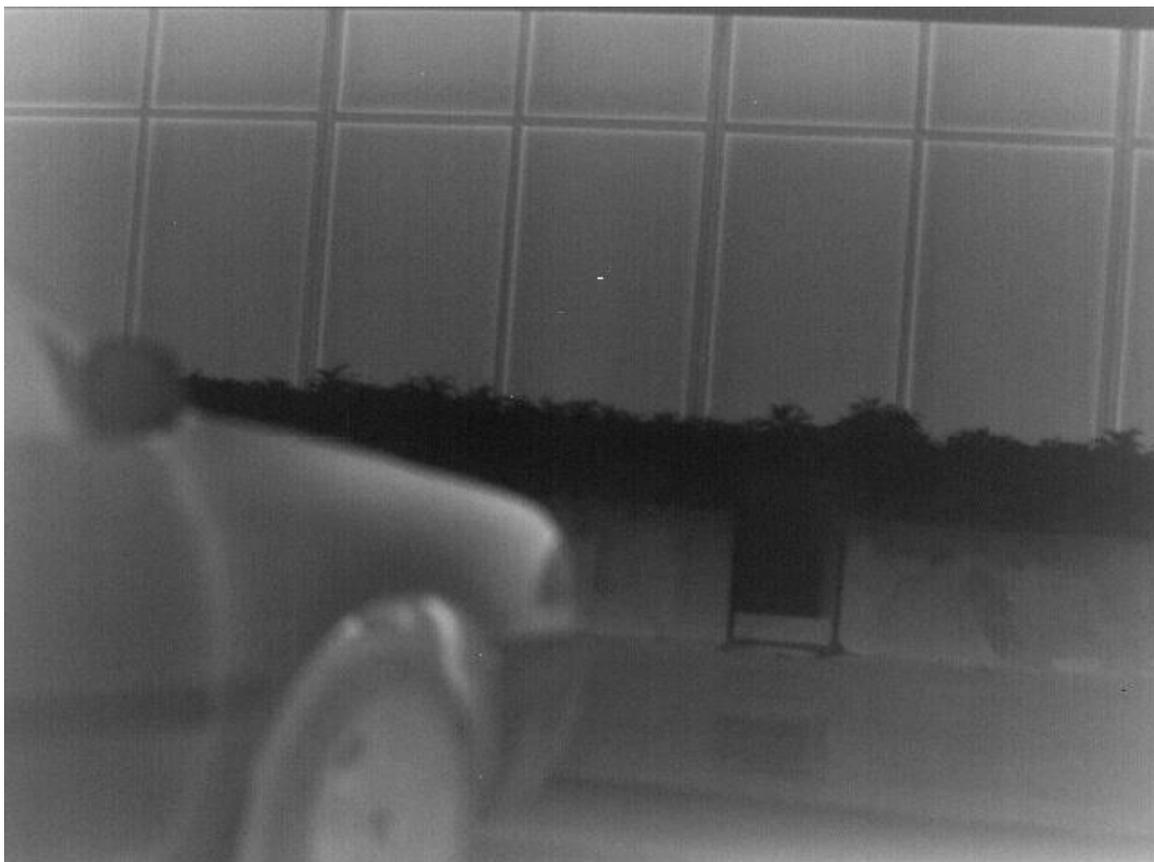


Рисунок 3.1. Кадр исходной видеопоследовательности №1.



Рисунок 3.2. Кадр исходной видеопоследовательности №2.



Рисунок 3.3. Кадр исходной видеопоследовательности №3.

Исследованы следующие алгоритмы подавления шума:

- внутрикадровое подавление шума с использованием адаптивной медианной фильтрации;
- межкадровое подавление шума накоплением без компенсации движения с использованием трехмерной медианой фильтрации;
- подавление шума с компенсацией движения с оценкой общего сдвига корреляционным методом;
- межкадровое подавление шума с предварительной компенсацией глобального движения с оценкой общего сдвига корреляционным методом и последующим использованием трехмерной медианой фильтрации;
- подавление шума с компенсацией локального (блочного) движения по трем кадрам;
- подавление шума с компенсацией локального (блочного) движения по пяти кадрам.

Параметрами алгоритмов подавления шума с компенсацией движения являются шаг между кадрами, количество усредняемых кадров, а для процедур с использованием блоков: размер блока, перекрытие блоков, тип поиска подобных блоков, порог достигнутой суммы абсолютных разностей блоков и т.п.

Исследования алгоритмов подавления шума выполнялись следующим образом. На исходные видеопоследовательности накладывался Гауссов шум (среднеквадратичное отклонение $СКО \approx 7$). На рисунке 3.4 приведен фрагмент кадра изображения с наложенным шумом. Далее зашумленные видеопоследовательности обрабатывались различными алгоритмами. Эффективность каждого определялась путем покадрового сличения видеопоследовательности с подавленным шумом и соответствующей ей исходной. В качестве критерия при этом использован PSNR для соответствующих кадров. Схожесть видеопоследовательностей при этом определялась как среднее по кадрам значение PSNR.

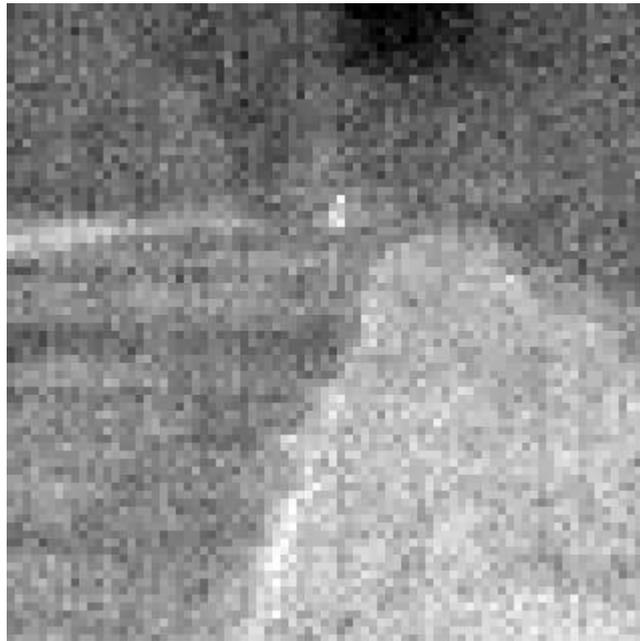


Рисунок 3.4. Объект наблюдения в видеопоследовательности №3 с наложенным шумом. (масштаб 4:1, автоконтраст).

Ниже приведены графики, промежуточных результатов полученные в процессе исследования алгоритмов. По оси абсцисс отмечены номера кадров в видеопоследовательности, а по оси ординат степень подавления шума. Среди исследуемых на промежуточном этапе представлены следующие алгоритмы:

1. AdaptiveMedian – фильтрует шум путем нахождения минимума, максимума и медианной медианы на локальной сетке и расширения до ограниченного максимального размера для получения лучшей статистики. Полезен для фильтрации шума типа "соль и перец".
2. DeGrainMedian – плагин разработан главным образом для удаления зернистости пленок, но может быть использован для общего понижения шума. Он использует некоторый пространственно-временной ограниченно медианный метод.

3. FFT3DFilter_2D – двумерный пространственный (2D) фильтр Винера для спектральных данных. Использует данные только текущего кадра. Понижает слабые частоты (с малой спектральной мощностью) путем оптимальной Винеровской фильтрации с некоторым заданным уровнем шума. Повышение резкости и шумопонижение объединены в этом режиме.
4. FFT3DFilter_3D – трехмерный (3D) фильтр Винера для спектральных данных. Добавляет третье измерение к БПФ (быстрое преобразование Фурье), используя данные предыдущего, текущего и следующего кадров. Ослабляет слабые частоты (с малой спектральной мощностью) путем оптимальной Винеровской фильтрации с некоторым заданным уровнем шума.
5. hqdn3d – высококачественный 3D удалитель шума. Делает 3-направленную фильтрацию, которая может полностью удалить высокочастотный шум, минимизируя артефакты смещения.
6. MVDenoise – подавление шума с использованием компенсации движения. Это устаревшая функция. Обработка перекрывающихся блоков реализована как простое последовательное покрытие блоками слева направо, сверху вниз. Данная функция использует скомпенсированные по движению кадры, хранящиеся в клипах векторов.
7. MVDeGrain2 – подавление шума с использованием компенсации движения. Производит динамическое понижение шума с компенсацией движения. Блоки опорных предыдущих и последующих кадров компенсируются и затем усредняются с текущим кадром с весовыми факторами, зависящими от разницы блоков от текущего (SAD).
8. STMedianFilter – это (слегка компенсированный к движению) пространственно-временной медианный фильтр. Он довольно тонкозернистый, используя только соседние пиксели в пространстве и во времени, так что он смотрит на смежные 26 позиций, чтобы фильтровать каждую позицию.
9. VagueDenoiser – это основанный на вейвлетах фильтр. По существу, он преобразует каждый кадр входного видео в пространство вейвлетов, используя различные вейвлет-фильтры. Затем он применяет некоторую фильтрацию к полученным коэффициентам. Потом он делает обратное вейвлет-преобразование. Благодаря свойствам вейвлетов, это дает хороший сглаженный результат и снижение шума, без размазывания деталей изображения. Данное вейвлет-преобразование может быть сделано для каждой плоскости цветового

пространства. Данный фильтр использует вейвлеты из руководства Брислауна (Brislawm).

На графиках видеопоследовательность с наложенным шумом обозначена, как Egor.

На рисунке 3.5 приведены средние значения PSNR полученные на видеопоследовательности с локальным движением объектов. Существенные снижения PSNR наблюдаются у алгоритмов с компенсацией движения на фрагментах видеопоследовательности, в которых происходит резкая смена фона (движения камеры). И далее по мере накопления статистики данные алгоритмы выходят на прежний уровень подавления шума. Регулярные скачки PSNR обусловлены интенсивным движением объектов. Кроме этого следует заметить, что внутрикадровые алгоритмы (AdaptiveMedian), как и следовало ожидать, проявляют стабильность подавления шума.

На рисунке 3.6 приведены средние значения PSNR полученные на видеопоследовательности с глобальным движением (движение камеры). При этом наблюдается большая стабильность подавления шума чем для предыдущей видеопоследовательности. Так же как и для предыдущего графика спады находятся на фрагментах видеопоследовательности, в которых происходит резкая смена фона (движения камеры).

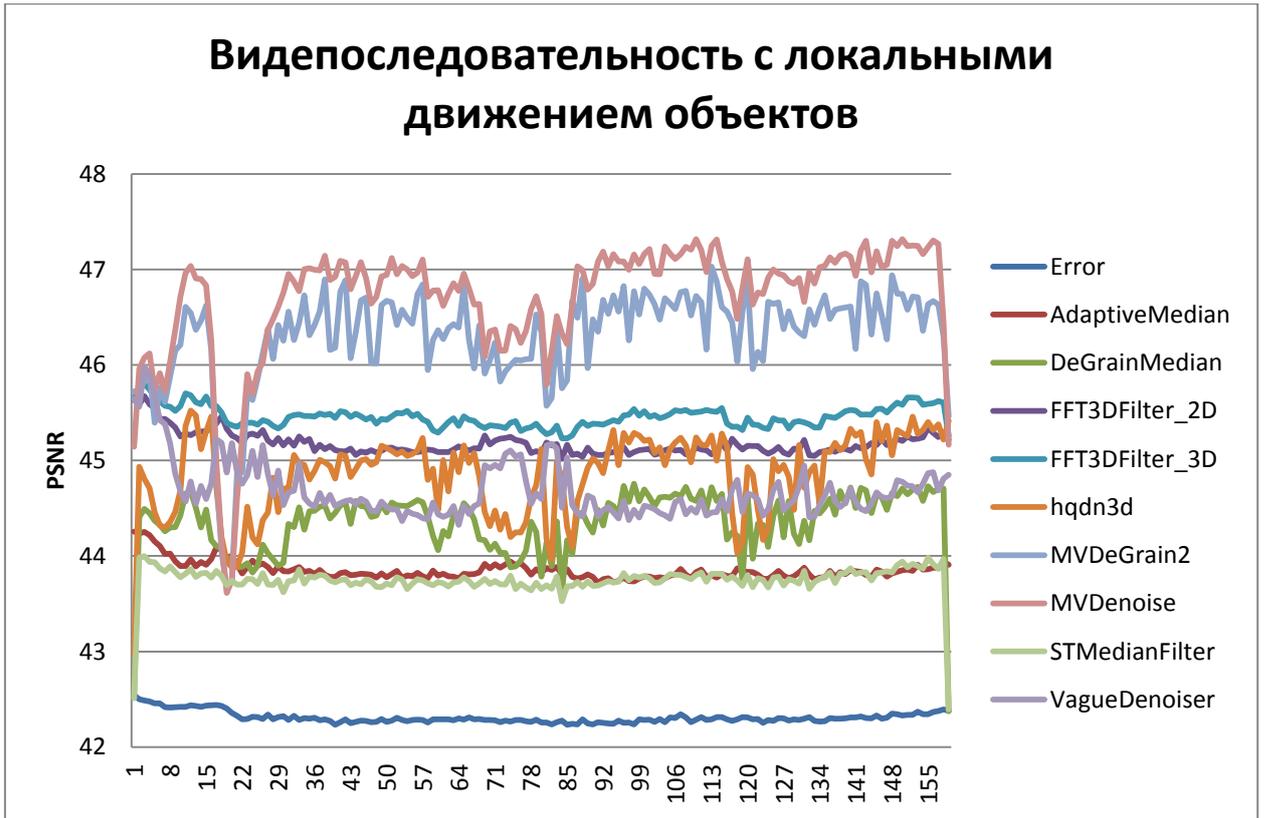


Рисунок 3.5. Средние значения PSNR для фильтров, полученные на клипе с локальным движением.

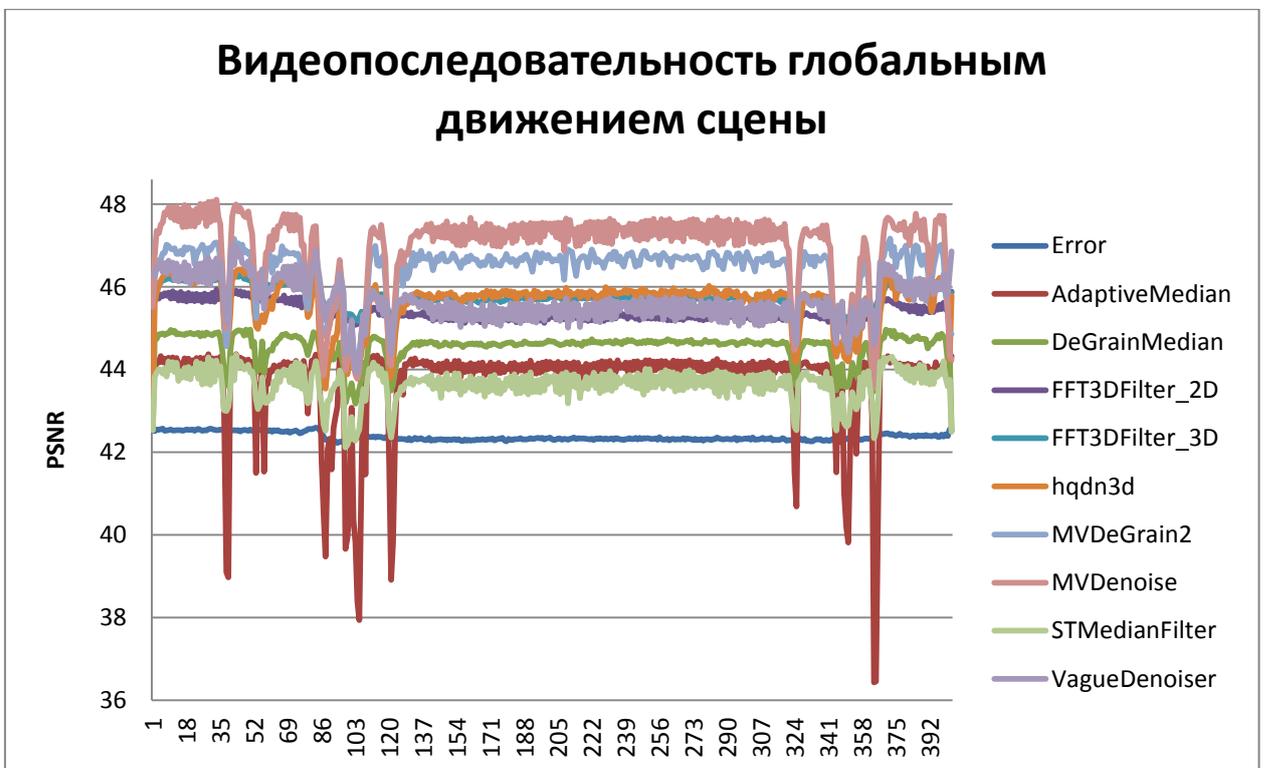


Рисунок 3.6. Средние значения PSNR для фильтров, полученные на клипе с глобальным движением.

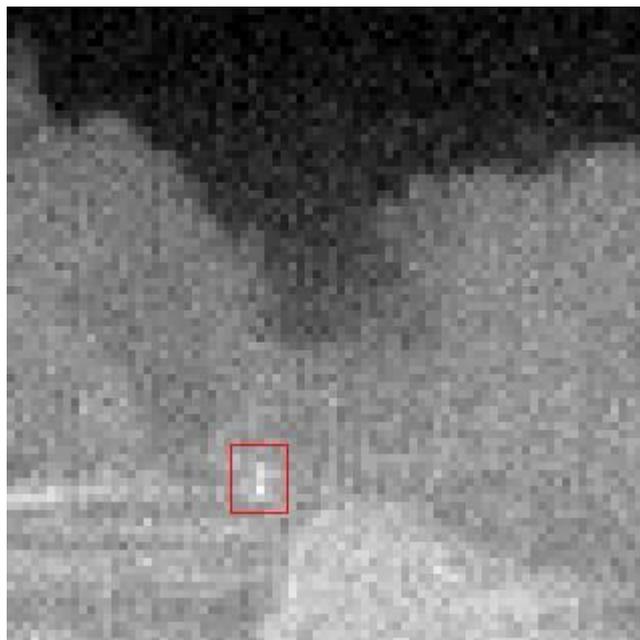


Рисунок 3.7. Объект наблюдения в видеопоследовательности №3 (масштаб 4:1, автоконтраст, целевой объект выделен красной рамкой).

Кроме того, поскольку объекты наблюдения зачастую описываются (как ранее было отмечено) несколькими пикселями (рис. 3.7), они могут быть искажены в процессе подавления шума (рис. 3.8, 3.9). По этой причине при сравнении алгоритмов также оценивалась степень искажений ими целевого объекта в последовательности №3. В качестве критерия использован контраст объекта, оцениваемый как нормированная разность средней яркости отсчетов, принадлежащих объекту, и средней яркости отсчетов его ближайшей окрестности (фона).



Рисунок 3.8. Объект наблюдения в видеопоследовательности №3 (масштаб 4:1, автоконтраст, после подавления шума медианным фильтром).

В таблице 3.1 приведены полученные результаты. Первая строка содержит значения введенных критериев, рассчитанные при сравнении видеопоследовательностей с наложенным шумом с исходными и характеризующие степень внесенных искажений. В следующих шести строках приведены значения критериев эффективности для реализованных алгоритмов подавления шума.

Процедуры	№1	№2	№3	Снижение контраста объекта, %	Относительная трудоемкость, %
Внесение шума	31.28	31.54	31.49	0	-
Пространственная медианная фильтрация	33.46	33.84	33.91	15	1,55
Пространственно-временная медианная фильтрация	32.98	33.28	33.36	13	1,57
Накопление с компенсацией глобального движения	32.27	32.58	32.58	4	7,35
Пространственно-временная медианная фильтрация с компенсацией глобального движения	33.38	33.80	33.53	13	7,46
Накопление по 3 кадрам с компенсацией локального движения	33.77	34.15	34.35	5	50,00
Накопление по 5 кадрам с компенсацией локального движения	35.04	35.36	34.78	5	100,00

Таблица 3.1. – Результаты сравнения обработанных последовательностей с исходными.

Прежде всего, следует отметить, что внутрикадровые алгоритмы в 3 раза снижают контраст объекта сильнее, чем межкадровые методы. При этом обратим внимание на их производительность, которая на порядок превосходит методы с компенсацией движения.

По приведенным результатам можно сделать вывод, что максимальная степень подавления шума достигается при усреднении по пяти кадрам с компенсацией локального движения. Так же достаточно эффективным выглядит внутрикадровый метод, основанный на адаптивной медианной фильтрации. Алгоритмы, использующие компенсацию движения с оценкой общего сдвига корреляционным методом, оказываются менее эффективными. Как показал анализ, это связано с ошибками в определении смещений при их существенных значениях. Однако алгоритм с компенсацией локального движения также не лишен определенных недостатков. В первую очередь это его значительная трудоемкость. Кроме того, отмечено, что при использовании данного алгоритма на участках изображения с низким контрастом наблюдаются искажения в виде относительного смещения отдельных фрагментов изображения (изображение как бы

дышит). Указанный эффект привел к снижению оценки эффективности для последовательности №3. Такой тип искажений для алгоритма с компенсацией общего сдвига отсутствует.

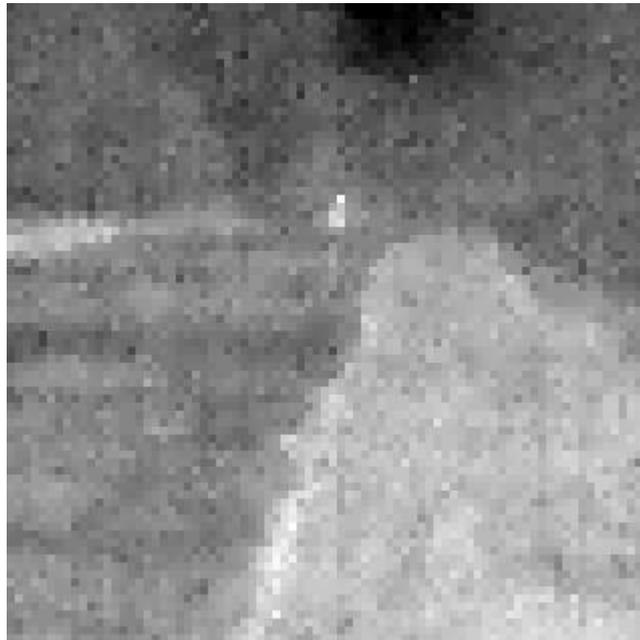


Рисунок 3.9. Объект наблюдения в видеопоследовательности №3 (масштаб 4:1, автоконтраст, после подавления шума алгоритмом усреднения с компенсацией глобального движения).

Результаты оценки контраста объекта на последовательности №3 свидетельствуют о том, что использование медианного фильтра кроме подавления шума, снижает также и яркость изображений подобных малоразмерных объектов.

Следует обратить внимание, что алгоритм накопления с компенсацией глобального движения обладая наименьшей степенью подавления шума, при этом меньше всех искажает целевой объект. В тоже время на то, что если вместо накопления использовать пространственно-временную медианную фильтрацию, то сразу на 1 дБ улучшается подавление шума и более чем в 4 раза снижается контраст объекта. При этом незначительно (всего на 0,11%) увеличивается трудоемкость, это свидетельствует о том, что наиболее сложной с вычислительной точки зрения являются процедуры построения полей векторов смещений и компенсации движения. Еще одним подтверждающим это заключение фактом является то, что при увеличении с 3-х до 5-ти компенсируемых кадров в алгоритмах накопления с компенсацией локального движения трудоемкость увеличивается в два раза.

Отметим, что субъективное восприятие согласуется со значениями как показателей подавления шума алгоритмами, так и со значениями снижения контраста. Например, на

видеопоследовательности обработанной алгоритмом накопления с компенсацией глобального движения (рис. 3.9), действительно целевой объект воспринимается оператором лучше, чем после подавления шума медианным фильтром (рис. 3.8). Аналогичное заключение можно сделать и относительно степени подавления шума. Видеопоследовательность, полученная после подавления шума алгоритмом накопления по 5 кадрам с компенсацией локального движения, визуально содержит меньше шума, чем все остальные.

Глава 4. Комбинированный алгоритм подавления шума в видеопоследовательностях

4.1 Модифицированный алгоритм подавления шума

С учетом результатов проведенных исследований разработан модифицированный алгоритм подавления шума с частичной компенсацией общего движения [13, 14]. Алгоритм выполняет подавление шума межкадровым усреднением с учетом величины взаимных смещений входных изображений в последующих кадрах. Если смещение отсутствует, выполняется усреднение пяти кадров. При наличии незначительного смещения осуществляется его коррекция и усреднение по трем кадрам. При наличии значительных смещений предложено отказаться от их компенсации и выполнять лишь медианную фильтрацию в текущем кадре.



Рисунок 4.1. Блок-схема модифицированного алгоритма.

Алгоритм состоит из трех этапов (см. рис 4.1):

1 этап - оценка смещения изображений. Выполняется оценка относительного сдвига для $n-2$ и $n+2$ кадров видеопоследовательности (где n – номер текущего кадра).

Рассчитывается сумма абсолютных разностей (SAD) центральных фрагментов изображений для различных их относительных смещений. Размеры фрагментов 300x300, размеры смещений от -5 до 5 по обеим координатам. В результате получается массив значений SAD размерностью 11x11. В данном массиве ищется положение минимума.

2 этап - выбор метода фильтрации. В зависимости от положения минимума в массиве SAD, сформированном на первом этапе, выбирается дальнейшая ветвь алгоритма обработки:

- если минимум SAD достигается при отсутствии относительного смещения центральных фрагментов сравниваемых изображений, выбирается первая ветвь,
- если минимум оказывается при малом смещении (от 1 до 3 элементов), выбирается вторая ветвь,
- во всех иных случаях выбирается третья ветвь.

3 этап - фильтрация.

Ветвь 1. Выполняется усреднение яркости каждого отсчета по пяти последовательным кадрам $n-2$, $n-1$, n , $n+1$, $n+2$. Значения отсчета в пяти указанных кадрах суммируются, и результат делится на 5. Деление выполняется в целых числах.

Ветвь 2. Выполняется оценка смещений $n-1$ и $n+1$ кадров относительно текущего (n) изложенным ранее методом (описание этапа 1). С учетом полученных смещений формируются компенсированные по движению кадры. Затем выполняется усреднение яркости каждого отсчета по трем кадрам: текущему (n) и компенсированным предыдущему ($n-1$) и последующему ($n+1$).

Ветвь 3. Выполняется медианная внутрикадровая обработка с ядром 3x3 текущего кадра.

4.2 Оценка эффективности разработанного алгоритма

Алгоритм реализован на языке C++ в среде разработки MS Visual Studio 2012 в виде модуля к программе Avisynth. Выполнены сравнительные исследования эффективности подавления шума комбинированным алгоритмом.

В последней строке таблицы 4.2 приведены результаты исследования эффективности разработанного алгоритма по описанной выше методике. Анализ полученных данных показывает, что предложенный алгоритм обладает достаточно высокой эффективностью, по сравнению с рассмотренными ранее. По первому из используемых критериев он лишь незначительно уступает наиболее трудоемкому из них и превосходит остальные (считается, что улучшение на величину PSNR=0,5 дБ заметно

глазу). При этом снижение контраста объекта для данного алгоритма практически вдвое меньше, чем для процедур, основанных на медианной фильтрации. При этом трудоемкость комбинированного алгоритма осталась на уровне внутрикадровых методов.

Процедуры	№1	№2	№3	Снижение контраста объекта, %	Относительная трудоемкость, %
Внесение шума	31.28	31.54	31.49	0	-
Пространственная медианная фильтрация	33.46	33.84	33.91	15	1,55
Пространственно-временная медианная фильтрация	32.98	33.28	33.36	13	1,57
Накопление с компенсацией глобального движения	32.27	32.58	32.58	4	7,35
Пространственно-временная медианная фильтрация с компенсацией глобального движения	33.38	33.80	33.53	13	7,46
Накопление по 3 кадрам с компенсацией локального движения	33.77	34.15	34.35	5	50,00
Накопление по 5 кадрам с компенсацией локального движения	35.04	35.36	34.78	5	100,00
Предлагаемый алгоритм	34.17	34.52	34.90	8	1,38

Таблица 4.2. Результаты сравнения обработанных последовательностей с исходными.

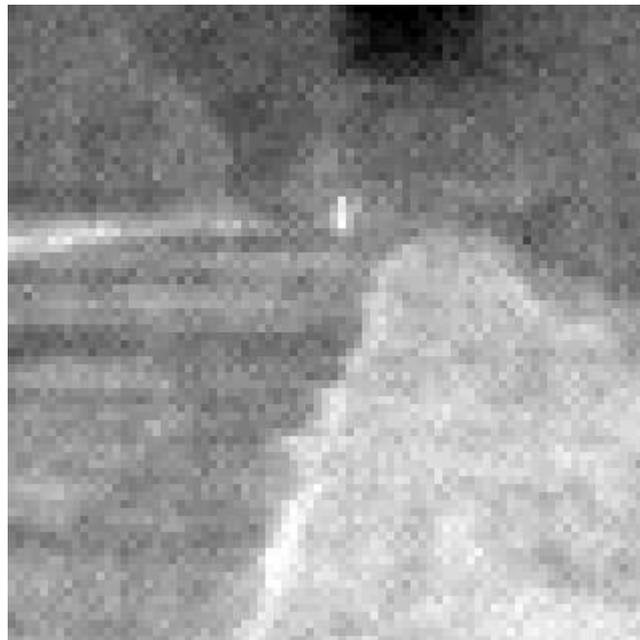


Рисунок 4.1. Объект наблюдения в видеопоследовательности №3 (масштаб 4:1, автоконтраст, после подавления шума комбинированным алгоритмом).

На рисунке 4.1 приведено изображение объекта, полученное после подавления шума предлагаемым алгоритмом.

Разработан комбинированный алгоритм улучшения качества изображений, ориентированный на реализацию в мобильных тепловизионных системах наблюдения. Алгоритм выполняет подавления шума с применением многокадровой обработки с учетом взаимных общих (изображения в целом) смещений входных изображений в последующих кадрах. Смещение оценивается сличением центральных фрагментов кадров. При отсутствии смещений выполняется усреднение пяти кадров. В случае незначительных смещений осуществляется оценка их величины, коррекция и усреднение по трем кадрам. При наличии значительных смещений выполняется лишь медианная фильтрация по девяти отсчетам в текущем кадре. Данный алгоритм учитывает особенности использования мобильных тепловизионных систем наблюдения и по своей эффективности в реальных условиях незначительно уступает наиболее популярным, но трудоемким алгоритмам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произведен обзор методов подавления шума, принадлежащих различным классам: внутрикадровые методы, межкадровые методы без компенсации движения и с компенсацией глобального/локального движения. Внутрикадровые методы подавления шума достаточно хорошо справляются с поставленными перед ними задачами, но общий недостаток этих методов состоит в искажении (а возможно и устранении) низкоконтрастных изображений малоразмерных объектов, наблюдаемых на предельной дальности. Тогда как зачастую именно такие объекты являются целью наблюдения. В то время, как межкадровые методы с компенсацией движения в меньшей степени искажают изображения малоразмерных объектов, тем не менее, у них тоже есть недостаток в контексте решаемой задачи – относительно высокая трудоемкость. Менее трудоемкие алгоритмы без компенсации движения тоже не подходят вследствие присутствующего в видеопоследовательности тремора.

С целью проведения исследования эффективности алгоритмов подавления шума на видеопоследовательностях, полученных в реальных условиях, разработано программное обеспечение. Оценка эффективности методов подавления шума осуществляется путем определения степени подавления шума с использованием метрики PSNR, оценки степени снижения контраста объекта и сравнения трудоемкости посредством подсчета времени обработки видеопоследовательности на ПК. С помощью разработанного программного комплекса исследована эффективность внутрикадровых и многокадровых алгоритмов подавления шума.

На основе результатов исследования разработан комбинированный алгоритм улучшения качества изображений в видеопоследовательности, учитывающий специфику решаемых задач и ориентированный на реализацию в мобильных тепловизионных системах наблюдения. Алгоритм выполняет подавления шума с применением многокадровой обработки с учетом взаимных общих (изображения в целом) смещений входных изображений в последующих кадрах. Смещение оценивается сличением центральных фрагментов кадров. При отсутствии смещений выполняется усреднение пяти кадров. В случае незначительных смещений осуществляется оценка их величины, коррекция и усреднение по трем кадрам. При наличии значительных смещений выполняется лишь медианная фильтрация по девяти отсчетам в текущем кадре. Алгоритм реализован на языке C++ в среде разработки MS Visual Studio 2012 в виде модуля к программе Avisynth.

Исследована эффективность разработанного комбинированного алгоритма на примере обработки видеопоследовательностей полученных при полевых испытаниях тепловизионного прицела ТБ-4-50 (разработка НФ ИФП СО РАН «КТИ ПМ»). В результате показано, что по степени подавления шума предложенный алгоритм лишь незначительно уступает наиболее трудоемкому алгоритму с компенсацией локального движения с усреднением по 5-ти кадрам и превосходит остальные исследуемые алгоритмы. При этом снижение контраста изображения объекта для предложенного алгоритма практически вдвое меньше, чем для внутрикадровых процедур подавления шума, основанных на медианной фильтрации. Трудоемкость же комбинированного алгоритма осталась на уровне внутрикадровых методов и в десятки раз меньше, чем у многокадровых с компенсацией локального движения.

Список литературы

1. Узилов С.Б. Исследование методов коррекции неоднородности в тепловизионных системах наблюдения // Материалы 51-й международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс». 2013. С. 152
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с.
3. Хуанг Т. С., Эклунд Дж.-О., Нуссбаумер Г. Дж., Зохар Ш., Юстуссон Б. И., Тянь Ш.-Г. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: Под ред. Хуанга Т. С.: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с, ил.
4. Жук С.В. Обзор методов подавления шумов на растровых изображениях // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Том 6, №6. стр. 112-115.
5. Белявцев В.Г., Воскобойников Ю.Е. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры // Автометрия. 1998. № 3. С. 18-27.
6. Brailean J.C., Kleihorst R.P., Efstratiadis S., Katsaggelos A.K., Lagendijk R.L. Noise Reduction Filters for Dynamic Image Sequences: A Review // Proceedings of IEEE. September 1995. Vol. 83, no. 9. pp. 1272-1292.
7. Braspenning R.A., Naan G. True-motion estimation using feature correspondence // Proceedings of VCIP. Jan. 2004. SPIE. pp. 396-407.
8. Гришин С.В., Ватолин Д.С., Лукин А.С., Путилин С.Ю., Стрельников К.Н. Обзор блочных методов оценки движения в цифровых видео сигналах // Программные системы и инструменты. Тематический сборник № 9. М.: Изд-во факультета ВМиК МГУ. 2008. стр. 50-62.
9. Голицын А. В., Журов Г. Е., Цивинский М. Ю., Голицын А. А., Яшина Т. В., Навражных В. А., Мишанин С. С. Тепловизионный прицел для стрелкового оружия // Российская конференция и школа по актуальным проблемам полупроводниковой нанофотоэлектроники «Фотоника-2011». Тезисы докладов. Новосибирск, 2011. С.148.
10. Huynh-Thu, Q.; Ghanbari, M. (2008). "Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment". Electronics Letters 44: 800-801. doi:10.1049/el:20080522.
11. Chan, K. Zeng, P. Mohapatra, S. J. Lee, and S. Banerjee, "Metrics for Evaluating Video Streaming Quality in Lossy IEEE 802.11 Wireless Networks", IEEE Infocom 2010, San Deigo, CA, March 15-19, 2010.

12. Узилов С.Б. Исследование эффективности межкадровых методов подавления шума // Материалы 50-й юбилейной международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс». 2012. С. 23
13. Борзов С. М., Узилов С. Б. Разработка многокадрового алгоритма подавления шума для мобильных тепловизионных систем наблюдения // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2013. Т. 11, вып. 1. С. 16–23
14. Узилов С.Б. Разработка алгоритма подавления шума для мобильных тепловизионных систем наблюдения // Материалы молодежной конкурсной конференции «Фотоника и оптические технологии». 2012. С. 27-27