

Дипломная работа

Комплекс алгоритмов
улучшения изображений и
компенсации их
геометрических искажений

Слынько Юрий

Постановка задачи

В данной работе рассмотрены следующие задачи:

1. Определение параметров геометрических искажений кадров видеопоследовательности по отношению к опорному.
2. Отделение случайных составляющих геометрических искажений от регулярных трансформаций, связанных с управляемым движением камеры.
3. Определение побочных параметров видеопоследовательности, таких как наличие черезстрочной развертки, смазанность кадров, шумоподобность и др.

Основной целью работы было обеспечение следующих качеств алгоритмов:

1. Устойчивая работа с реальными изображениями низкого качества.
2. Работа в реальном времени на современных неспециализированных вычислительных средствах.

Алгоритмы определения параметров трансформации

Ключевые особенности:

1. Во всех представленных алгоритмах в качестве критерия, определяющего степень различия двух кадров, использовалась функция среднеквадратичной невязки, т.е. функция

$$X(F(t-1), T_Q(F(t))) = \frac{1}{S(M)} \sum_{(i,j) \in M(dx,dy)} (F(t-1)_{ij} - F(t)_{i+dx, j+dy})^2$$

А искомые параметры определялись из минимума этой функции

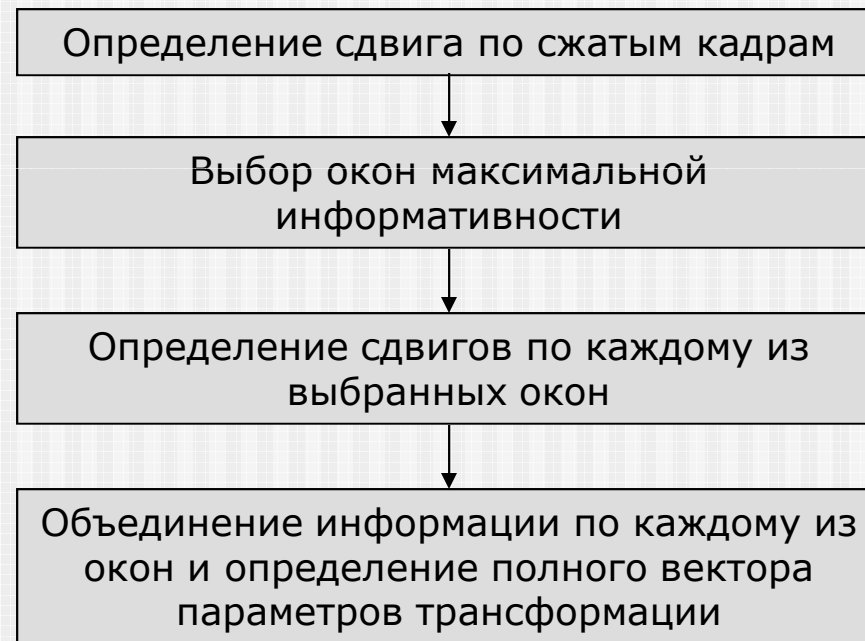
$$Q = (dx, dy) = \arg \min_{(dx,dy) \in D} X(F(t-1), T_Q(F(t)))$$

Область сдвигов D и область M , по которой производятся вычисления, и другие параметры функции невязки выбирается специальным образом.

2. Производится не просто нахождение наилучшей оценки параметров, но и анализ функции невязки с целью определения степени надежности этой оценки, а также уменьшения количества вычислений за счет исключения маловероятных решений.
3. В данной работе в качестве модели геометрических искажений используется модель, использующая 4 параметра – сдвиги по двум осям, угол поворота и коэффициент масштабирования.

Алгоритмы определения параметров трансформации

Блок схема комплекса алгоритмов



Алгоритмы определения параметров трансформации

Определение сдвига по сжатым кадрам

Определение параметров трансформации с использованием сжатых кадров осуществляется по следующей схеме:

1. Создание цепочки сжатых кадров разного масштаба



2. Итеративное определение целочисленного сдвига с постепенным уточнением масштаба путем оптимизированного перебора.
3. Уточнение полученного сдвига процедурами определения субпиксельного сдвига.

Алгоритмы определения параметров трансформации

Использование окон наибольшей информативности

Определение параметров трансформации с использованием окон наибольшей информативности осуществляется по следующей схеме:

1. Выбор окон. Окон выбираются как окна, информативность которых максимальна. Сама информативность вычисляется по формуле

$$I(\vec{r}_k) = \min_{l=1..L} \frac{1}{\sqrt{dx^2(l) + dy^2(l)}} \sum_{(i,j) \in W(\vec{r}_k)} (F_{ij} - F_{i+dx(l), j+dy(l)})^2$$

2. Определение целочисленного сдвига по каждому из окон методом оптимизированного перебора или градиентного спуска.
3. Объединение информации о сдвигах отдельных окон и получение всех 4 параметров трансформации по формуле

$$Q = \arg \min_Q \sum_{k=1}^N (\vec{\rho}_k - \tau_Q(\vec{r}_k)) C_k^{-1} (\vec{\rho}_k - \tau_Q(\vec{r}_k))^T$$

Алгоритмы отделения шумовой и полезной составляющих геометрических трансформаций

Для адекватного отображения видеопоследовательности необходимо выделить шумовые составляющие геометрических трансформаций и компенсировать их, оставив полезную часть неизменной.

В данной работе было рассмотрено три типа алгоритмов разделения шумовой и полезной составляющих геометрических трансформаций:

1. Аппроксимация полезной составляющей параметрическими функциями.
2. Эмпирическое задание вида функции компенсации шумовой составляющей.
3. Выбор полезной составляющей путем минимизации критерия качества, выраженного формулой

$$J(\dots) = (\Delta\vec{r}_a(t) - \Delta\vec{r}_{sa}(t))^4 + \alpha(\Delta\vec{r}_{sa}(t) - \Delta\vec{r}_{sa}(t-1))^2 + \beta|\varphi_a(t) - \varphi_{sa}(t)|_\varphi^2 + \gamma|\varphi_{sa}(t) - \varphi_{sa}(t-1)|_\varphi^2 + \delta \cdot D^2(t, \Delta\vec{r}_{sa}(t), \varphi_{sa}(t))$$

Программная реализация

Блок схема программы улучшения изображений



Результаты

Алгоритмы определения параметров геометрических искажений

Сводная таблица характеристик алгоритмов

Размер изображения	Точность определения сдвига (пиксели)	Максимальный сдвиг (пиксели)	Точность определения угла поворота (градусы)	Максимальный угол поворота (градусы)	Точность определения коэффициента масштабирования	Количество кадров в секунду
320x240	0.08	120	0.034	10	0.2%	714
640x480	0.07	260	0.036	8	0.2%	232

Результаты

Алгоритмы определения параметров геометрических искажений

Характеристики работы на реальных последовательностях низкого качества

Определение сдвига		Определение всех 4 параметров трансформации		
Вероятность сбоя	С.К.О. по сдвигу при сбоях (пиксели)	Вероятность сбоя	С.К.О. по сдвигу при сбоях (пиксели)	С.К.О. по углу при сбоях (градусы)
0%	0	0.6%	15	10

Характеристики работы при ограничении времени обработки каждого кадра (в обработку входит не только стабилизация и улучшения изображения, но и чтения информации и ее отображение)

Размер изображения (пиксели)	Количество точек на изображении (мегапиксели)	С.К.О. определения сдвига (пиксели)
800x600	0.48	0.07-0.08
1024x768	0.79	0.07-0.09
1152x864	1.00	0.3-0.4
1280x1024	1.31	0.3-0.4
1600x900	1.44	0.8-1.0
1600x1024	1.64	обработка отключается

Результаты

Алгоритмы определения параметров геометрических искажений

Сравнение данных алгоритмов с другими опубликованными алгоритмами и коммерческими программными продуктами

Название алгоритма	С.К.О. определения сдвига (пиксели)	Максимальный сдвиг (пиксели)	С.К.О. определения угла (градусы)	Максимальный угол (градусы)	Вероятность сбоя	Количество кадров в секунду
Описанный выше алгоритм.	0.08	120	0.036	10	0%	233
DynaPel SteadyHands DV 2,2,0,2.	< 2	~ 30	< 0.2	10	100%	14
DeShaker 1.6.	0.08	90	0.02	10	0.3%	6
Video Stabilizer 2.6.0.0.	~ 3	10	∅	∅	100%	40
Спектральный метод компенсации смещений.	0.05	7	∅	∅	100%	21
Projection-Based Image Registration in the Presence of Fixed-Pattern Noise.	0.06	80	∅	∅	1.3%	97
Полупиксельный пирамидальный алгоритм.	0.03	45	0.015	30	2%	44
Вейвлет метод.	0.04	30	∅	∅	10%	0.12

Результаты

Модуль создания мозаики

Кадры исходной видеопоследовательности



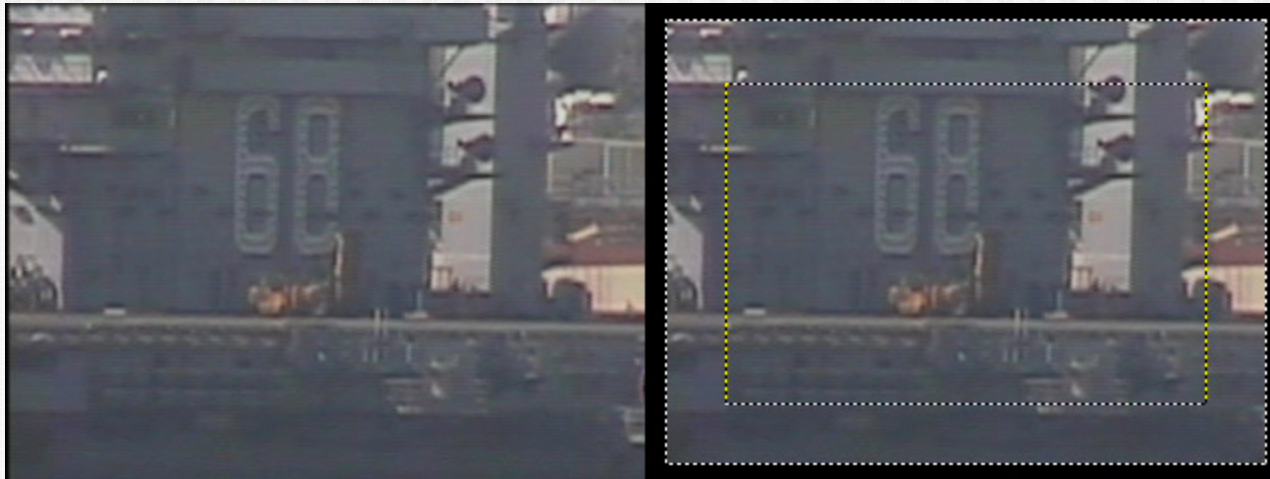
Результирующий кадр мозаики



Результаты

Полнофункциональный комплекс алгоритмов улучшения изображений и компенсации их геометрических искажений

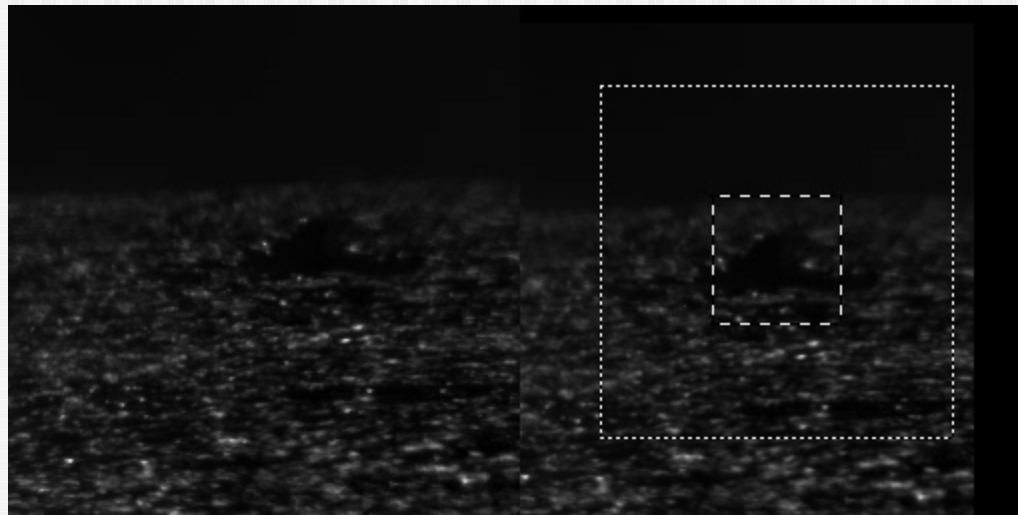
Пример результата работы – случай больших сдвигов в присутствии черезстрочной развертки



Результаты

Полнофункциональный комплекс алгоритмов улучшения изображений и компенсации их геометрических искажений

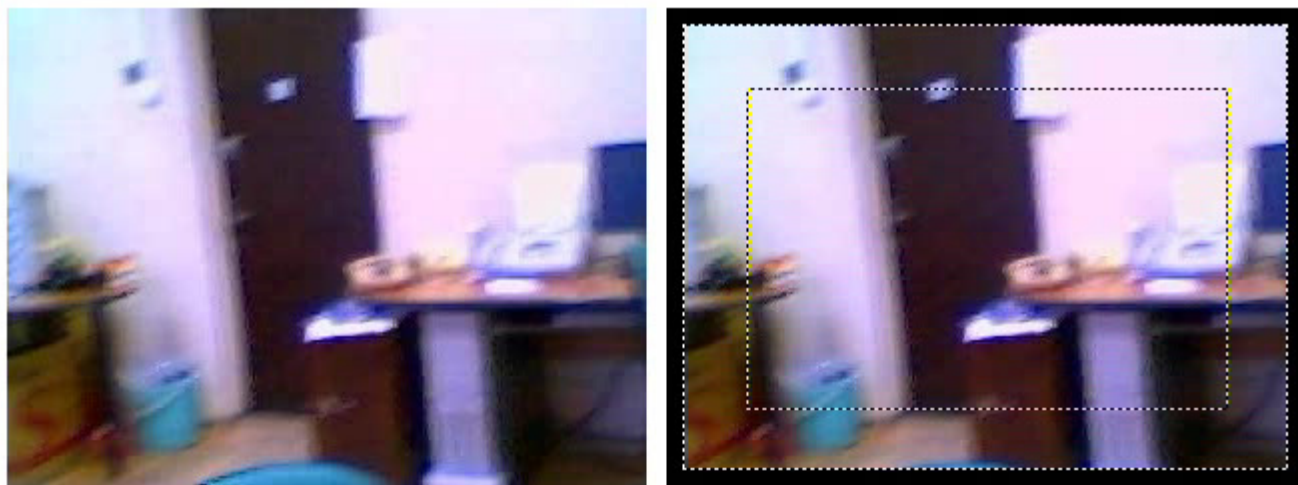
Пример результата работы – случай удержания слабоконтрастного изображения



Результаты

Полнофункциональный комплекс алгоритмов улучшения изображений и компенсации их геометрических искажений

Пример результата работы – удержание низкокачественного изображения



Выводы

1. Были созданы и реализованы различные алгоритмы оценки геометрических трансформаций кадров в видеопоследовательности.
2. Были созданы и реализованы алгоритмы отделения случайной составляющей геометрических трансформаций от регулярной, связанной с управляемым движением камеры.
3. Были созданы и реализованы алгоритмы определения и компенсации таких искажений изображений, как наличие черезстрочной развертки, шумоподобность, смазанность и др.
4. Был создан и реализован алгоритм создания кадра мозаики из последовательности входных кадров меньшего размера.
5. Была разработана и реализована система автоматического выбора оптимальных параметров алгоритмов на основе обучающих последовательностей.

Выводы

6. Была проведена оптимизация разработанных алгоритмов и исследована их производительность. Разработанные алгоритмы обеспечивают обработку кадров размером 320 на 240 пикселей со скоростью 230 кадров в секунду. При этом полная обработка видеопоследовательности, включающая в себя, помимо представленных алгоритмов, также чтение информации и ее отображение, возможна в режиме реального времени (25 кадров в секунду) для кадров размером до 1.44 мегапикселя.
7. Было проведено исследование качества работы алгоритмов. Было установлено что на модельных кадрах величина ошибки определения сдвига не более 0.08 при максимальном сдвиге порядка полукадра. Ошибка определения угла поворота – 0.036° при максимальном угле $8-10^\circ$. Ошибка определения коэффициента масштабирования – 0.2%. На реальных последовательностях вероятность сбоя в определении сдвига не превышает 0.3%.
8. Был проведен сравнительный анализ работы данного алгоритма и других, как описанных в литературе, так и реализованных в виде коммерческих продуктов. Было показано, что представленные алгоритмы по крайней мере не хуже, а по многим показателям лучше остальных исследованных.