

Методы удаления дефектов в видео

Шелудько Виктор

*Video Group
CS MSU Graphics & Media Lab*

План



- **Постановка задачи**
- **Удаление дефектов**
 - Основная идея
 - Методы построения маски дефекта
 - Методы удаления дефекта
- **Выводы и результаты**

Постановка задачи

- ◆ Задача заключается в устранении или подавлении в видео последовательности естественных или искусственно привнесенных дефектов, таких как цветные пятна и выпадение частей кадра. Дефекты характерны для пленок формата Betacam и VHS. Такие дефекты могут появиться в результате физического повреждения пленки.
- ◆ Типы рассмотренных дефектов:
 - Выпадение частей кадра
 - Цветные пятна

Постановка задачи

Примеры дефектов



Outline



- Постановка задачи
- Удаление дефектов
 - **Основная идея**
 - Методы построения маски дефекта
 - Методы удаления дефекта
- Выводы и результаты

Удаление дефектов

Основная идея



Традиционный подход к решению задачи удаления дефектов делится на два этапа:

- Обнаружение дефекта (построение маски)
- Удаление дефекта

Построение маски основано на предположении, что артефакт присутствует только на одном кадре. Т.о. если некоторое множество пикселей не обнаруживается на предыдущем или последующем кадре, то полагается, что оно принадлежит дефекту.

Удаление дефекта основано на применении некоторого пространственного, временного или пространственно-временного алгоритма обработки кадра.

Outline



- Постановка задачи
- Удаление дефектов
 - Основная идея
 - **Методы построения маски дефекта**
 - Методы удаления дефекта
- Выводы и результаты

Методы построения маски дефекта



На принципе использования окрестности текущего рассматриваемого пикселя можно выделить следующие базовые методы обнаружения дефекта:

- **Пространственный**
- **Временной**
- **Пространственно-временной**

Методы построения маски дефекта



Все методы предполагают следующую модель, описывающую испорченный кадр:

$$z(i) = (1 - d(i)) * y(i) + d(i) * c(i) ,$$

где $z(i)$ и $y(i)$ – испорченный и оригинальный кадр соответственно. Бинарная маска $d(i)$ – определяет дефект, $d(i) \in \{0, 1\}$. $c(i)$ – значения испорченных частей кадра.

Пространственный метод

Пример алгоритма



Основан на предположении, что артефакт имеет небольшую площадь и на границах ярко выраженные градиенты.

Использует полутоновую морфологию: четыре базовые операции двоичной математической морфологии (расширение, сужение, закрытие и открытие) при помощи операций взятия максимума и минимума расширены до полутоновой морфологии без использования порогов

Пространственный метод

Пример алгоритма



Пусть I - изображение в серых тонах, B - структурный элемент, тогда операции математической морфологии могут быть определены следующим способом:

$$I(x, y) \oplus B = \text{MAX}_{(u,v) \in B} (I(x+u, y+v) - B(u, v)) \quad \text{расширение}$$

$$I(x, y) \ominus B = \text{MIN}_{(u,v) \in B} (I(x+u, y+v) + B(u, v)) \quad \text{сужение}$$

$$(I(x, y))^B = (I(x, y) \oplus B) \ominus B \quad \text{закрытие}$$

$$(I(x, y))^{\bar{B}} = (I(x, y) \ominus B) \oplus B \quad \text{открытие}$$

Пространственный метод

Пример алгоритма



Обнаружение тёмных и светлых артефактов при помощи морфологических операций может быть выражено последовательным применением операций закрытия и открытия и вычитанием исходного изображения:

$$D_{\text{тёмн.}}(I(x, y), B) = ((I(x, y) \oplus B) \ominus B) - I(x, y)$$
$$D_{\text{светл.}}(I(x, y), B) = I(x, y) - ((I(x, y) \ominus B) \oplus B)$$

Пространственный метод

Пример алгоритма



Импульсными искажениями будут считаться отклонения величин, превосходящие по модулю фиксированный порог S . При малых значениях этого порога у детектора усиливаются ложные срабатывания, вызванные шумом. При больших значениях обнаружение дефектов становится неполным.

- ◆ Достоинства: небольшие вычисления
- ◆ Недостатки: не способен обнаруживать артефакты больших размеров, а также плохо выраженные темные или светлые пятна.

Временной метод

Пример алгоритма



Основан на предположении, что абсолютная разность дефектного пикселя с пикселями из предыдущего и последующего кадров превосходит заданное пороговое значение, а значение яркостной компоненты лежит между значениями яркости этих пикселей.

Пусть $I_n(\vec{r})$ – это интенсивность пикселя с координатами $\vec{r} = (x, y)^T$ на n -м кадре, $mask(\vec{r})$ – множество дефектных пикселей. Тогда предположение:

$$e_b(\vec{r}) = I_n(\vec{r}) - I_{n-1}(\vec{r})$$

$$e_f(\vec{r}) = I_n(\vec{r}) - I_{n+1}(\vec{r})$$

$$mask(\vec{r}) = \begin{cases} 1, & \text{если } (|e_b(\vec{r})| > e_t) \text{ И } (|e_f(\vec{r})| > e_t) \text{ И } (\text{sgn}(e_b(\vec{r})) = \text{sgn}(e_f(\vec{r}))) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Временной метод

Пример алгоритма



Этот алгоритм позволяет качественно обрабатывать ситуации, связанные с перекрытием объектов во время их движения, их появлением и исчезновением, так как в этих случаях разность между кадрами будет велика только в одном временном направлении, $e_b(\vec{r})$ или $e_f(\vec{r})$.

- ◆ Достоинства: позволяет качественно обрабатывать ситуации с перекрытием объектов во время их движения, их появлением и исчезновением.
- ◆ Недостатки: никак не учитывает движения между кадрами (но легко исправляется, если использовать скомпенсированные кадры).

Пространственно-временной метод

Пример алгоритма



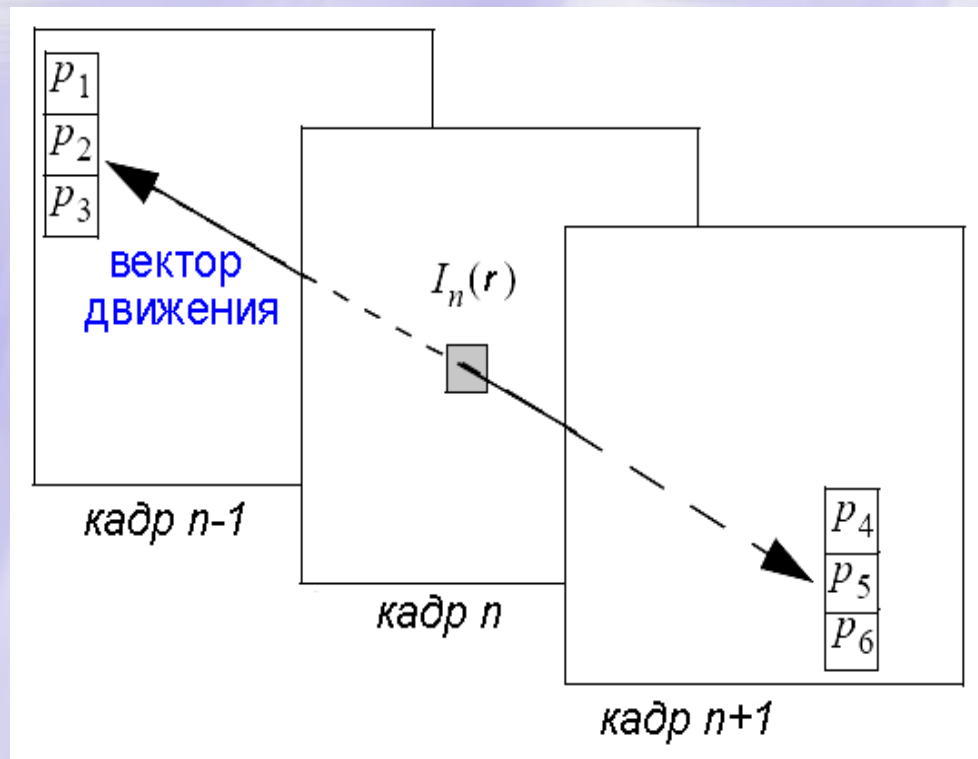
Основан на анализе семи пикселей, взятых с текущего, предыдущего и последующего кадров. Для повышения качества

обнаружения

используются

скомпенсированные

кадры.



Пространственно-временной метод



Пример алгоритма

Обозначим упорядоченное по возрастанию значений яркостей множество этих пикселей для n -го кадра через $p_{n,i}(\vec{r}), i \in [1,6]$. Тогда сам метод можно записать в виде следующей формулы:

$$d_n(\vec{r}) = \begin{cases} \min(p_{n,i}(\vec{r})) - I_n(\vec{r}) & \text{если } \min(p_{n,i}(\vec{r})) - I_n(\vec{r}) > 0 \\ I_n(\vec{r}) - \max(p_{n,i}(\vec{r})) & \text{если } I_n(\vec{r}) - \max(p_{n,i}(\vec{r})) > 0 \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

И маска может быть найдена следующим образом:

$$mask(\vec{r}) = d_n(\vec{r}) > T$$

Пространственно-временной метод

Пример алгоритма



- ◆ Достоинства: довольно простая реализация.
- ◆ Недостатки: При малых значениях порогового значения дефектные пиксели будут обнаружены корректно, но будет много ложных срабатываний. При увеличении порогового значения количество обнаруженных дефектов будет уменьшаться, но и ложных срабатываний будет меньше.

Пространственно-временной метод



Пример алгоритма

Метод ранжирования пикселей (ROD)— еще один метод, использующий пространственно-временную область.

Основан на том, что дефектные пиксели являются сильно выделяющимися в локальном распределении яркостей пикселей.

Пусть дан следующий набор пикселей:

$$\begin{aligned} p_1 &= I_{n-1}(\vec{r} + v_{n,n-1}(\vec{r}) + [0,0]) \\ p_2 &= I_{n-1}(\vec{r} + v_{n,n-1}(\vec{r}) + [0,1]) \\ p_3 &= I_{n-1}(\vec{r} + v_{n,n-1}(\vec{r}) + [0,-1]) \\ p_4 &= I_{n+1}(\vec{r} + v_{n,n+1}(\vec{r}) + [0,0]) \\ p_5 &= I_{n+1}(\vec{r} + v_{n,n+1}(\vec{r}) + [0,1]) \\ p_6 &= I_{n+1}(\vec{r} + v_{n,n+1}(\vec{r}) + [0,-1]) \\ I_c &= I_n(\vec{r}) \end{aligned}$$

Пространственно-временной метод



Пример алгоритма

1. Отсортировать пиксели p_i ($i = 1, \dots, 6$) и поместить в упорядоченный по возрастанию список $[r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6]$.

Посчитать медиану этих пикселей по следующей формуле: $M = \frac{r_3 + r_4}{2}$

2. Посчитать три ошибки компенсации следующим образом:

Если $I_c > M$, то

$$\begin{aligned} e_1 &= I_c - r_6 \\ e_2 &= I_c - r_5 \\ e_3 &= I_c - r_4 \end{aligned}$$

Если $I_c \leq M$, то

$$\begin{aligned} e_1 &= r_1 - I_c \\ e_2 &= r_2 - I_c \\ e_3 &= r_3 - I_c \end{aligned}$$

3. Ранжируются пиксели:

$$\text{mask}(\vec{r}) = \begin{cases} 1, & \text{если } (e_1 > t_1) \text{ ИЛИ } (e_2 > t_2) \text{ ИЛИ } (e_3 > t_3) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

Пространственно-временной метод

Пример алгоритма



Метод гистограмм – еще один метод, использующий пространственно-временную область.

Разобьем кадр на прямоугольные области. Пусть $H_n^q(k)$ – это k -й столбец гистограммы q -й прямоугольной области n -го кадра. Тогда для каждой прямоугольной области можно вычислить следующие две разности:

$$\Delta_{n,n-1}^q = \sum_k \left| H_n^q(k) - H_{n-1}^q(k) \right|$$
$$\Delta_{n,n+1}^q = \sum_k \left| H_n^q(k) - H_{n+1}^q(k) \right|$$

Если $\Delta_{n,n-1}^q > T$ & $\Delta_{n,n+1}^q > T$, то q -ая прямоугольная область может быть помечена, как содержащая дефект.

Пространственно-временной метод

Пример алгоритма



- ◆ Достоинства: небольшая вычислительная сложность и простая реализация
- ◆ Недостатки: не подходит для обнаружения небольших артефактов, так как при появлении дефектных пикселей в изображении изменение гистограммы едва заметно.

Outline



- Постановка задачи
- Удаление дефектов
 - Основная идея
 - Методы построения маски дефекта
 - **Методы удаления дефекта**
- Выводы и результаты

Методы удаления дефекта



Можно выделить следующие базовые методы удаления артефакта:

- Простая внутрикадровая интерполяция
- Многошаговая медианная фильтрация
- Интерполяция с использованием рациональных функций
- Метод заполнения по образцу
- Метод случайных полей Маркова

Простая внутрикадровая интерполяция



Рассмотрим на примере кубической интерполяции, основанной на полиноме 3-ей степени следующего вида:

$$I_{КИ}(x, y) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 a_{k,l} x^k y^l$$

Метод работает исключительно в пространственной области. Для оценки коэффициентов $a_{k,l}$ можно использовать метод наименьших квадратов с координатами (x_i, y_i) не дефектных пикселей вокруг обрабатываемой дефектной области.

Простая внутрикадровая интерполяция



С помощью полученных оценок коэффициентов $\hat{a}_{k,l}$ можно восстановить дефектную область при помощи следующей формулы:

$$I'_{KI}(x, y) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \hat{a}_{k,l} x_j^k y_j^l, \quad (x_j, y_j) \in \Omega, \text{ где}$$

Ω – множество не дефектных пикселей.

Многошаговая медианная фильтрация (MMF)

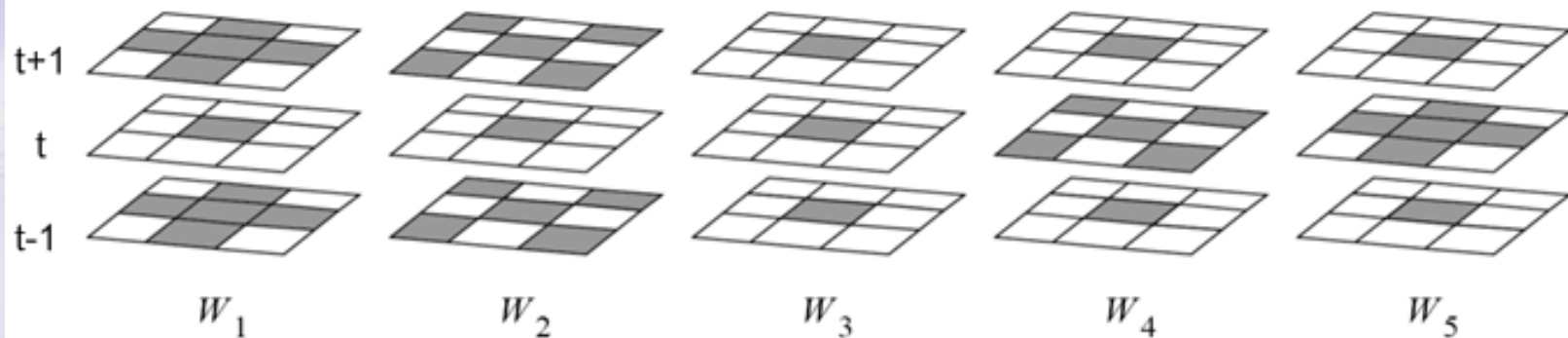


Основан на каскадном объединении операций медианной фильтрации. Медиану можно определить формулой:

$$med = \arg \min_{f_i \in W} \sum_{f_j \in W} |f_i - f_j|,$$

где W – множество пикселей, среди которых ищется медиана, а f_i – значения яркостей этих пикселей.

Многошаговая медианная фильтрация (MMF)



Тёмные квадраты обозначают включаемые пиксели, белые – не включаемые.

$$m_l = \text{median}(W_l), l = 1, \dots, 5$$

$$x(\vec{r}) = \text{median}(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5),$$

где W_l ($l = 1, \dots, 5$) – это маски.

Интерполяция с использованием рациональных функций



Метод работает в исключительно пространственной области и использует специальную функцию для получения весов пикселей.

a3	a2	a1	X	b1	b2	b3
----	----	----	---	----	----	----

В одномерном случае для восстановления интенсивности пикселя X этот метод использует пиксели $a3$, $a1$, $b1$ и $b3$. Для определения влияния смежных пикселей $a1$ и $b1$ на значение X используется следующая нелинейная рациональная функция:

$$\alpha = \frac{1 + k(a_1 - b_3)^2}{2 + k[(a_1 - b_3)^2 + (b_1 - a_3)^2]}$$

Интерполяция с использованием рациональных функций



Само значение X получается следующим образом:

$$X = \alpha \cdot a_1 + (1 - \alpha) \cdot b_1$$

Параметр k – это некоторая положительная константа, влияющая на степень проявления эффекта нелинейности интерполяции. При $k \approx 0$ фильтр сводится к простому линейному усреднению:

$$X = \frac{a_1 + b_1}{2}$$

При положительных значениях k сумма $(a_1 - b_3)^2 + (b_1 - a_3)^2$ позволяет определить наличие деталей и, в соответствии с этим, уменьшает эффект размытия функции.

Интерполяция с использованием рациональных функций



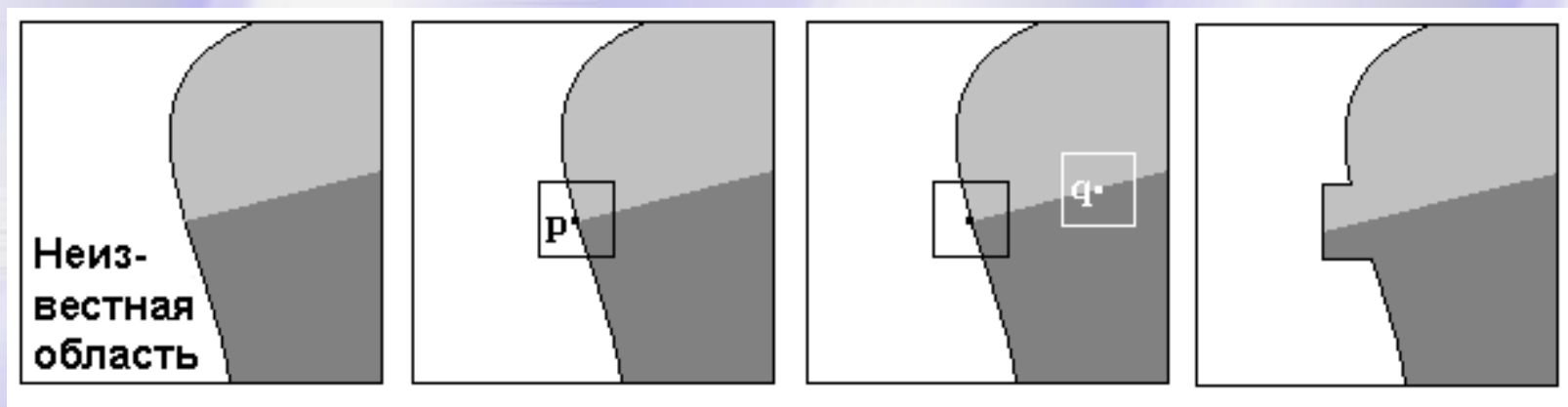
Пример работы алгоритма для дефектной области длиной 5 пикселей:

a4	a3	a2	a1	X_{-2}	X_{-1}	X_0	X_1	X_2	b1	b2	b3	b4
----	----	----	----	----------	----------	-------	-------	-------	----	----	----	----

1. Вычислить $X_0 = R(a4, a1, b1, b4)$
2. Временно вычислить $X_{-2} = \frac{2a_1 + X_0}{3}$ и $X_2 = \frac{2b_1 + X_0}{3}$
3. Вычислить $X_1 = R(X_0, X_{-2}, X_2, b2)$
4. Вычислить $X_{-1} = R(a2, X_{-2}, X_0, X_2)$
5. Повторно вычислить $X_{-2} = R(a3, a1, X_{-1}, X_1)$ и $X_2 = R(X_{-1}, X_1, b1, b3)$

Метод заполнения по образцу

Основная идея метода состоит в продолжении контуров кадров вблизи дефектных областей текстур.



На рисунке один шаг работы алгоритма

Метод заполнения по образцу



Применительно к восстановлению видеопоследовательностей, качество работы этого алгоритма можно улучшить, опираясь не только на пространственные, но ещё и на временные данные.

Достоинства: Это универсальность, алгоритм может показывать хорошие результаты даже в случае полного отсутствия информации об утерянной области.

Недостатки: Это большая вычислительная сложность, которая сильно зависит от размеров дефектных областей и от текстурированности восстанавливаемых кадров.

Метод случайных полей Маркова

В основе этого метода стоит вычисление максимума апостериорной вероятности нахождения пропущенных данных $\hat{X}(\vec{r})$ на месте заданной дефектной области $mask(\vec{r})$ с использованием данных текущего кадра $I_n(\vec{r})$, а так же скомпенсированных по движению предыдущего и последующего кадров $I_{n-1}^{mc}(\vec{r})$ и $I_{n+1}^{mc}(\vec{r})$ соответственно:

$$P[\hat{X}(\vec{r}) | mask(\vec{r}), I_{n-1}^{mc}(\vec{r}), I_n(\vec{r}), I_{n+1}^{mc}(\vec{r})] \propto \exp\left(-\sum_{\vec{s}: mask(\vec{s})=1} \left[\sum_{\vec{s} \in S_S(\vec{r})} (\hat{X}(\vec{r}) - \hat{X}(\vec{s}))^2 + \sum_{\vec{s} \in S_T(\vec{r})} \lambda \cdot \left[(\hat{X}(\vec{r}) - I_{n-1}^{mc}(\vec{s}))^2 + (\hat{X}(\vec{r}) - I_{n+1}^{mc}(\vec{s}))^2 \right] \right]\right),$$

где S_S и S_T – соседние в пространственной и временной области пиксели, а λ – это коэффициент влияния временной области.

Метод случайных полей Маркова



Вычисление формулы происходит только в дефектных областях. Квадрат разности $(\hat{X}(\vec{r}) - \hat{X}(\vec{s}))^2$ в правой части формулы учитывает предположение о пространственной гладкости интерполированных значений яркости пикселей. Следующие два квадрата разности поощряют условие непрерывности во временной области вдоль траекторий движения пикселей и, следовательно, объектов.

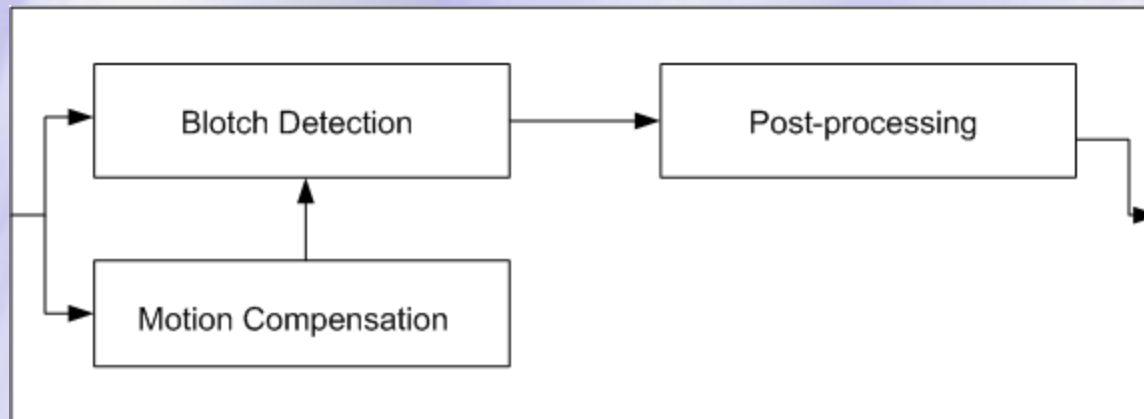
Outline



- Постановка задачи
- Удаление дефектов
 - Основная идея
 - Методы построения маски дефекта
 - Методы удаления дефекта
- **Выводы и результаты**

Выводы

Временной метод + операции математической морфологии – самый простой и распространенный. Таким образом мы для построения маски цветных пятен и выпавших частей кадра использовали следующую схему.



Выводы



Пространственной интерполяции и многошаговая медианная фильтрация – самые простые и распространенные.

Они дают неплохие результаты на изображениях с дефектами небольшого размера. Скорость работы не зависит от количества дефектов и размера дефектных областей.

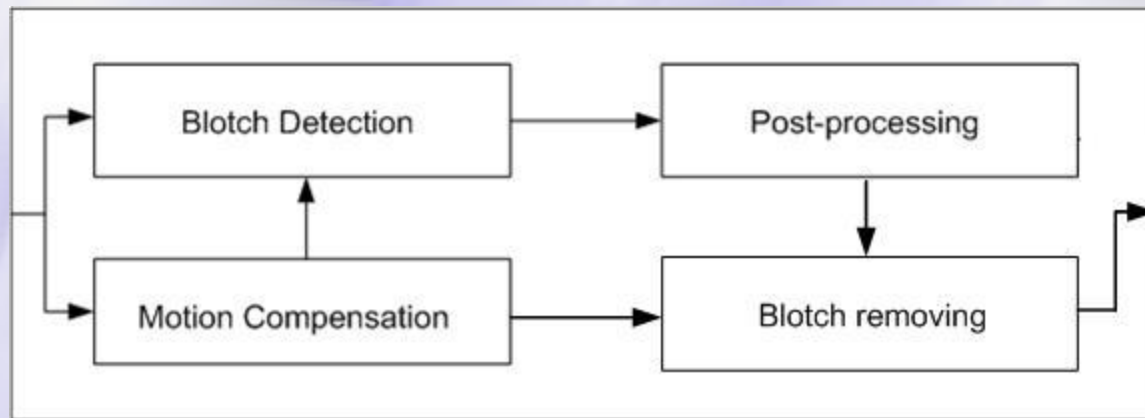
Выводы

Для удаления артефактов мы используем информацию из пространственно-временной области.

Для удаления цветных пятен – внутрикадровую интерполяцию с медианной фильтрацией.

Для удаления выпадения небольших частей кадра – многошаговую медианную фильтрацию.

Для удаления выпадения больших частей кадра – MSU Image Restoration.



Выводы



Схема работы алгоритма по блокам:



ВЫВОДЫ

Результаты



Выводы

Результаты



ВЫВОДЫ

Результаты



Выводы

Результаты



Литература



- ◆ Van Roosmalen P., Biemond J., Lagendijk R. 'Restoration of Archived Film and Video' Technische Universiteit Delft
- ◆ Kokaram A.C., Godsill S. 'Joint detection, interpolation, motion and parameter estimation for image sequences with missing data', 1997, P. 191-194.
- ◆ Khriji L., Gabbouj M., Ramponi G., Ferrandiere E.D. 'Old Movie Restoration Using Rational Spatial Interpolators', 1999. P. 1151-1154.
- ◆ Kokaram A.C., Morris R.D., Fitzgerald W.J., Rayner P.J.W. 'Detection of Missing Data in Image Sequences' IEEE Transactions on Image Processing, 1995. P. 1496–1508.

Вопросы

