GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Обзор методов стабилизации видео

Максим Колиниченко

Video Group
CS MSU Graphics & Media Lab

Содержание

- **Введение**
- Сглаживание траектории
- Удаление motion blur
- Video completion
- Заключение

Постановка задачи

Движение в кадре:

- Движение объектов
- Намеренное движение камеры
- Случайное движение камеры (дрожание)

Задача – удаление дрожания

Методы:

- Аппаратная стабилизация (во время съемки)
- Программная стабилизация (постобработка)

Аппаратная стабилизация

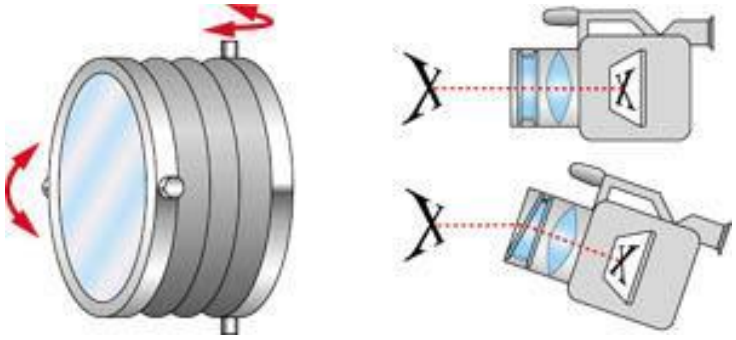
Стабилизаторы:

- Оптические
- С подвижной матрицей
- Цифровые

Во всех случаях перемещения камеры фиксируются акселерометром

Аппаратная стабилизация
Оптический стабилизатор

Система подвижных линз. При малых колебаниях обеспечивает неподвижность проекции изображения на матрицу



Единственный способ стабилизации для пленочных камер

Аппаратная стабилизация
Подвижная матрица

Матрица закреплена на подвижной платформе

Стабилизация работает с любой оптикой

http://rix.com.ua/sm/site/fileslibrary/2009_rew_aut/fototechnika/pentax_k10d_stab.jpg

Аппаратная стабилизация
Цифровая стабилизация

Около 40% пикселей на матрице
не участвуют в формировании изображения

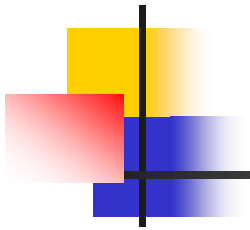
Самый дешевый способ стабилизации

http://photogid.com.ua/upload-files/canon5d/matrix-Canon-EOS-5D-Mark-II.jpg

Программная стабилизация
Основные этапы

- Сглаживание траектории камеры
- Удаление motion blur
- Формирование новых кадров
  - Обрезка изображений
  - Заполнение пустых областей

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005



Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
  - **Традиционный подход**
  - Optimal Camera Path
- Удаление motion blur
- Video completion
- Заключение

Сглаживание траектории

Задача:

1. Определить траекторию движения камеры
2. Построить новую траекторию, сохраняющую плавные намеренные движения камеры, и устранить дрожание

Традиционный подход

- Находим цепочку глобальных преобразований кадров (например, с помощью optical flow)
- Находим $S_t = \sum_{i \in N_t}(T_t^i * G(k))$ – такое преобразование, что $I'_t = S_t I_t$

I_t – t-й кадр последовательности

T_j^i – преобразование i-го кадра в j-й , $I_j = T_j^i I_i$

I'_t – стабилизированный кадр

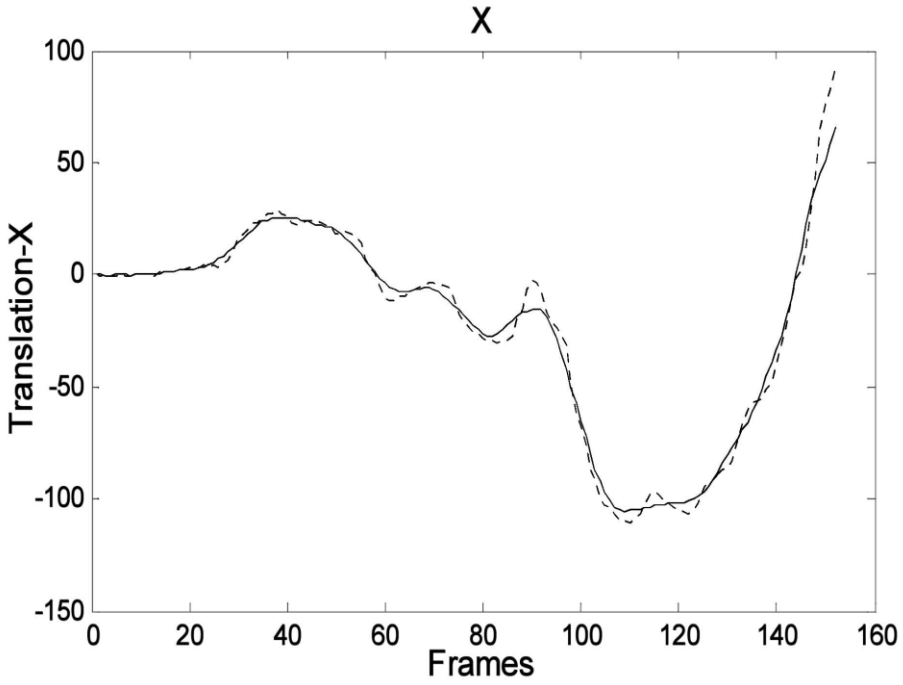
$N_t = \{j : t - k \le j \le t + k\}$ – множество индексов

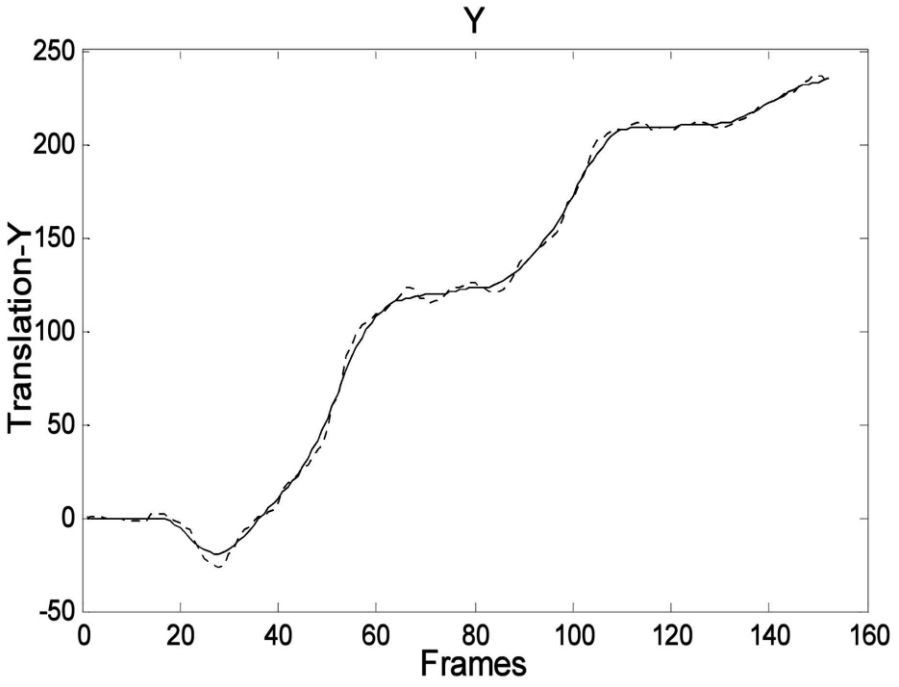
$G(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-k^2/2\sigma^2}, \sigma = \sqrt{k}$ – гауссово ядро

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Результат

- Увеличивая k, делаем результат более гладким





$$k = 6$$

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Выводы

Достоинства:

- Траектория становится более гладкой, подавляются высокочастотные колебания
- Сохраняется направление намеренного движения

Недостатки:

- Низкочастотные колебания (шагающий человек) сохраняются
- Съемка все равно отличается от профессиональной

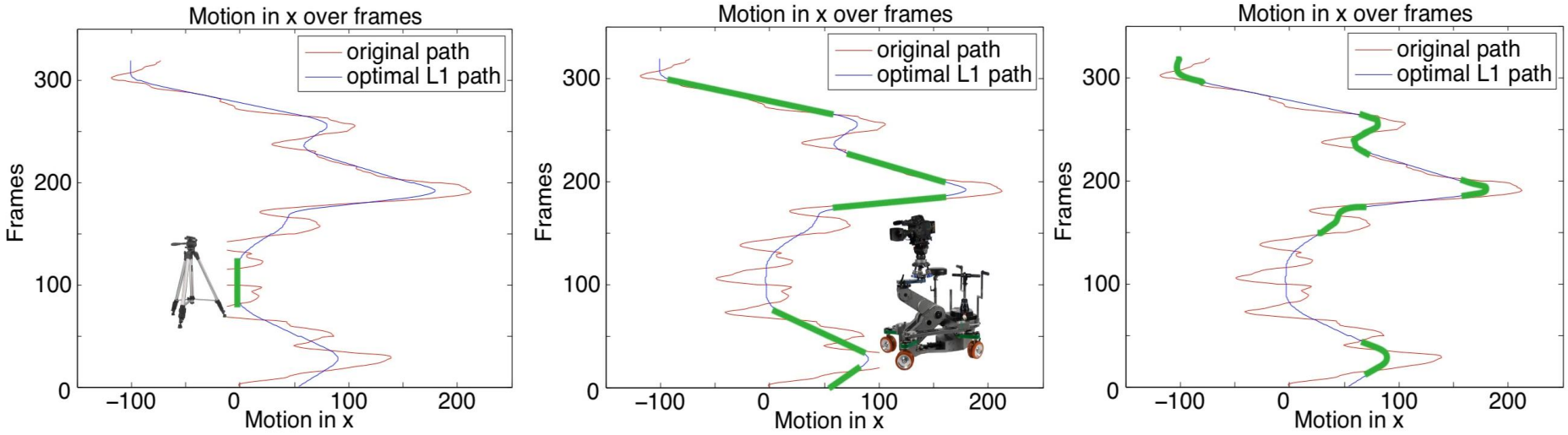
Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
  - Традиционный подход
  - **Optimal Camera Path**
- Удаление motion blur
- Video completion
- Заключение

Идея алгоритма

Заменить траекторию камеры на ту, которая содержит только участки с постоянной координатой, скоростью или ускорением



M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Алгоритм
Задача

Найти оптимальную траекторию, минимизируя функционал $\mathcal{O}(P) = w_1|D(P)|_1 + w_2|D^2(P)|_1 + w_3|D^3(P)|_1$ по всем B_t, при наложенных ограничениях

C – оригинальная траектория камеры

P – сглаженная траектория

F_t – преобразование кадра I_{t-1} в I_t

$C_t = F_1 F_2 \dots F_t$

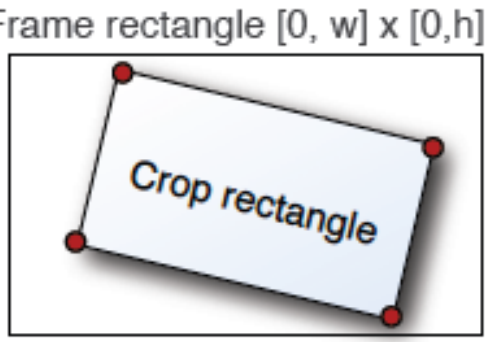
$P_t = C_t B_t$

B_t – стабилизирующее преобразование

$D(\cdot)$ – дифференцирующий оператор; w_i – веса

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Алгоритм
Ограничения



- Вложенность. Новый кадр должен целиком содержаться в старом. Гарантируем корректность всех пикселей нового кадра
- Приближение. Новая траектория должна сохранять основное направление оригинальной

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Алгоритм
Минимизация производных

- Минимизируем первую производную:

$$|D(P)| = \sum_t |P_{t+1} - P_t| = \sum_t |C_{t+1}B_{t+1} - C_tB_t| =$$
$$= \sum_t |C_tF_{t+1}B_{t+1} - C_tB_t| \le \sum_t |C_t||F_{t+1}B_{t+1} - B_t|$$

Так как C_t известно, минимизируем

$$\sum_t |R_t|, R_t := F_{t+1}B_{t+1} - B_t$$

2. Вместо $|D^2(P)| = \sum_t |F_{t+1}R_{t+1} - R_t|$ авторы минимизируют $|R_{t+1} - R_t| = |F_{t+2}B_{t+2} - |(I + F_{t+1})B_{t+1} + B_t|$
3. Для третьей производной $|R_{t+2} - 2R_{t+1} + R_t|$

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Алгоритм
Параметризация

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

- Преобразование B_t может быть параметризовано вектором $p_t = (dx_t, dy_t, a_t, b_t, c_t, d_t)^T$

$$B_t = \begin{pmatrix} a_t & b_t \\ c_t & d_t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dx_t \\ dy_t \end{pmatrix}$$

- Вложенность $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \le \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & c_i^x & c_i^y & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & & c_i^x & c_i^y \end{pmatrix}}_{:=\mathrm{CR}_i} p_t \le \begin{pmatrix} w \\ h \end{pmatrix}$
- Приближение

$$\begin{aligned} 0.9 \le a_t, d_t \le 1.1; \\ -0.1 \le b_t, c_t \le 0.1; \\ -0.05 \le c_t + b_t \le 0.05; \\ -0.1 \le a_t - d_t \le 0.1 \end{aligned}$$

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Алгоритм
Линейное программирование

Input: Frame pair transforms $F_t,\ t = 1..n$
Output: Optimal camera path $P_t = C_t B_t = C_t A(p_t)$

$$
\begin{aligned}
\text{Minimize} \quad & c^T e \\
\text{w.r.t.} \quad & p = (p_1, ..., p_n) \\
\text{where} \quad & e = (e^1, e^2, e^3), e^i = (e^i_1, ..., e^i_n) \\
& c = (w_1, w_2, w_3) \\
\text{subject to} \quad & \\
\text{smoothness} \quad & \begin{cases} -e^1_t \le R_t(p) \le e^1_t \\ -e^2_t \le R_{t+1}(p) - R_t(p) \le e^2_t \\ -e^3_t \le R_{t+2}(p) - 2R_{t+1}(p) + R_t(p) \le e^3_t \\ e^i_t \ge 0 \end{cases} \\
\text{proximity} \quad & \text{lb} \le U p_t \le \text{ub} \\
\text{inclusion} \quad & (0,0)^T \le \text{CR}_i p_t \le (w,h)^T
\end{aligned}
$$

Сформулируем усиленную задачу линейного программирования

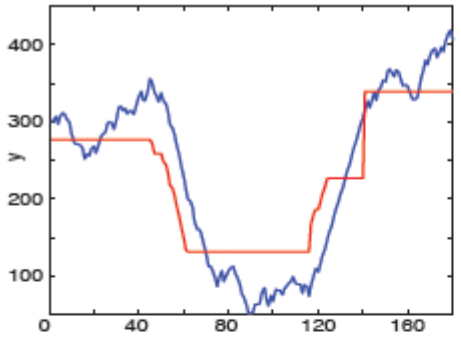
Задача решается симплекс-методом

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

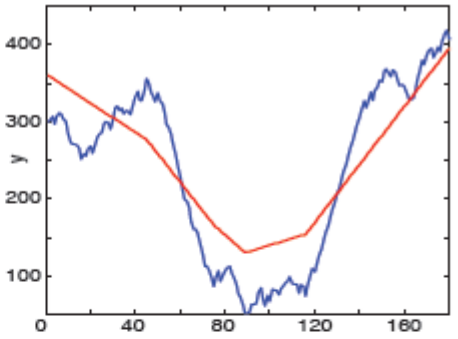
Алгоритм
Весовые коэффициенты

- Главное – избавиться от резких движений камеры

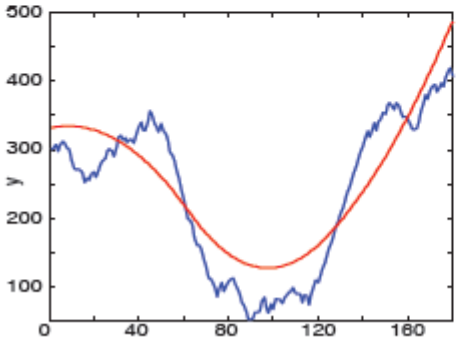
Для этого выбираем вес w_3 на порядок большим, чем w_1 и w_2



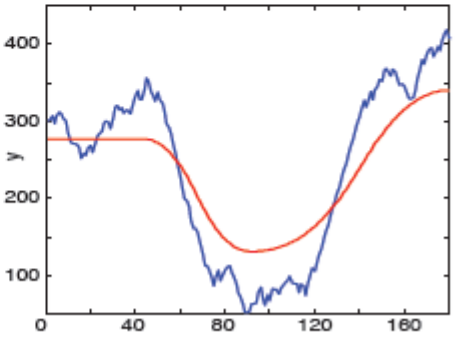
(a) $w_1 = 1, w_2 = w_3 = 0$



(b) $w_2 = 1, w_1 = w_3 = 0$



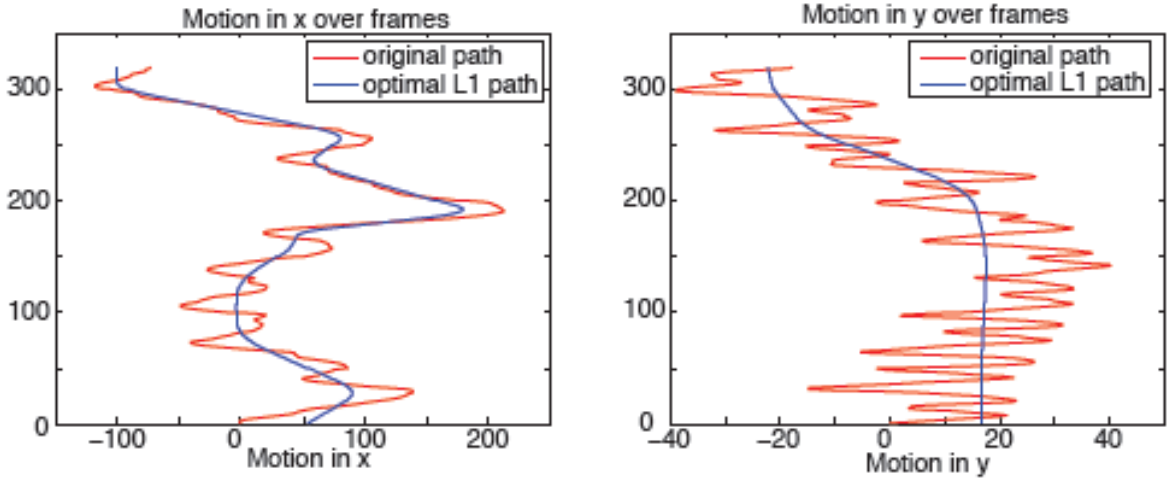
(c) $w_3 = 1, w_1 = w_2 = 0$



(d) $w_1 = 10, w_2 = 1, w_3 = 100$

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Результаты



- Траектория соответствует кинематографическим принципам
- Гибкий алгоритм. Добавляя и убирая ограничения, можем управлять его поведением

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Результаты
Видео

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

Оригинал

Результат

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Реализация

- http://youtube.com/editor – online реализация стабилизатора
- Работает в реальном времени
- Один параметр – размер нового кадра

M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011

Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
- Удаление motion blur
  - **Motion Deblurring**
  - Dual-Frame Deblurring
- Video completion
- Заключение

Удаление motion blur

- Проблема: при стабилизации меняется траектория движения камеры. Motion blur, связанный со старым движением, смотрится неестественно
- Идея: заменить размытые пиксели относительно более четкими из соседних кадров

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Мера размытия

- Рассмотрим участок видео, в котором сцена значительно не меняется
- Для каждого кадра из этого участка посчитаем меру относительной размытости по общей области перекрытия: $$b_t = \frac{1}{\sum_{\mathbf{p}_t} \left\{ \left((f_x \star I_t)(\mathbf{p}_t) \right)^2 + \left((f_y \star I_t)(\mathbf{p}_t) \right)^2 \right\}}$$ где f_x и f_y – фильтры-производные в направлениях x и y
- Если $b_t / b_{t'} > 1$, то кадр t' считается менее размытым, чем t

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Весовой коэффициент

- Введем меру ошибки: $E_{t'}^{t}(\mathbf{p}_t) = \left| I_{t'}(\mathbf{T}_t^{t'}\mathbf{p}_t) - I_t(\mathbf{p}_t) \right|$
  Высокие значения объясняются либо ошибкой в глобальном преобразовании $T_t^{t'}$, либо движением в кадре
- Введем весовой коэффициент:

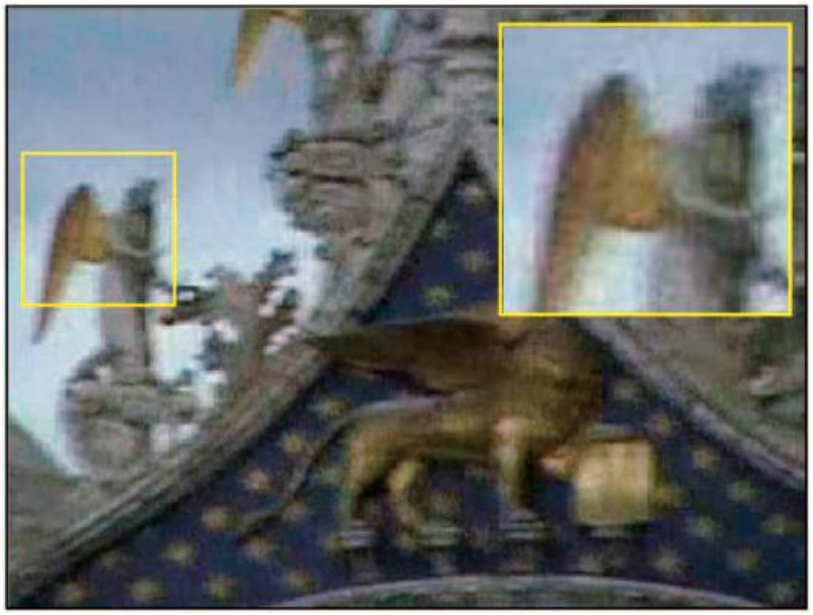
$$w_{t'}^{t}(\mathbf{p}_t) = \begin{cases} 0 & \text{if } \frac{b_t}{b_{t'}} < 1 \\ \frac{b_t}{b_{t'}} \frac{\alpha}{E_{t'}^{t}(\mathbf{p}_t)+\alpha} & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Параметр α определяет влияние ошибки на вес

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Результат

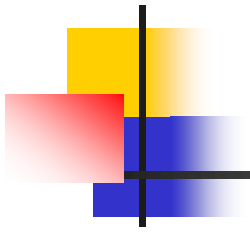
$$\hat{I}_t(\mathbf{p}_t) = \frac{I_t(\mathbf{p}_t) + \sum_{t' \in \mathcal{N}} w_{t'}^t(\mathbf{p}_t) I_{t'}(\mathbf{T}_t^{t'} \mathbf{p}_t)}{1 + \sum_{t' \in \mathcal{N}} w_{t'}^t(\mathbf{p}_t)}$$



Оригинал

Результат

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005



Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
- Удаление motion blur
  - Motion Deblurring
  - **Dual-Frame Deblurring**
- Video completion
- Заключение

Восстановление ядра

$$f = g * p + n$$

f – наблюдаемое изображение

g – чистое изображение

p – ядро размытия

n – шум

Задача – определить ядро p и применить один из алгоритмов обратной свертки к f

J.-F. Cai, H. Ji, C. Liu, Z. Shen, "High-quality curvelet-based motion deblurring from an image pair", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009

Алгоритм

Вход – два размытых изображения с небольшой ошибкой выравнивания ϵ:

$$f_1 = g * p_1 + n_1$$
$$f_2 = (g + \epsilon) * p_2 + n_2$$

Выход – чистое изображение g

J.-F. Cai, H. Ji, C. Liu, Z. Shen, "High-quality curvelet-based motion deblurring from an image pair", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009

Ограничения на ядро

Природа motion blur: несколько точек реального изображения формируют пиксель

Ядро размытия отражает кривую – траекторию, проходимую камерой за время выдержки

Наложим ограничения, чтобы уменьшить неоднозначность решения:

- Ядро – разреженная матрица
- Кривая, отражаемая в ядре, должна быть неразрывной

J.-F. Cai, H. Ji, C. Liu, Z. Shen, "High-quality curvelet-based motion deblurring from an image pair", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009

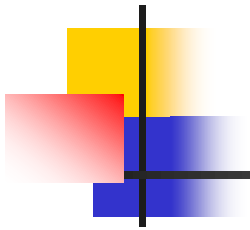
Метод решения

Авторы используют систему curvelet'ов, которая дает максимально разреженное представление ядра

Оригинальная пара изображений

Результат

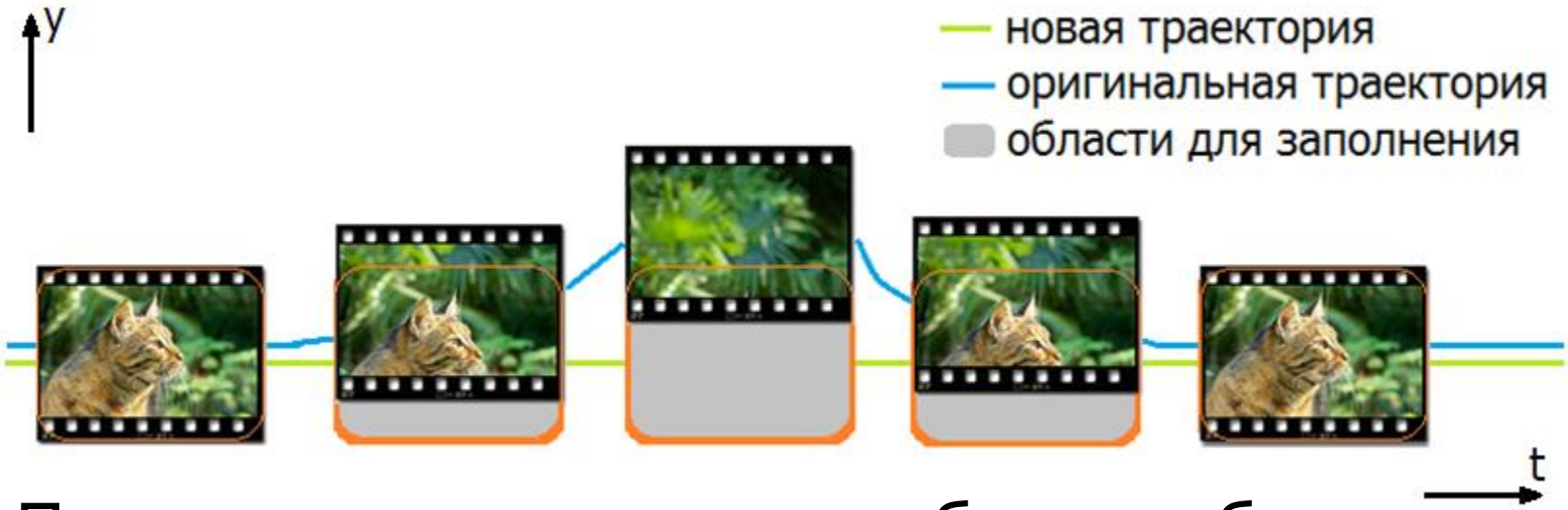
J.-F. Cai, H. Ji, C. Liu, Z. Shen, "High-quality curvelet-based motion deblurring from an image pair", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009



Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
- Удаление motion blur
- **Video completion**
- Заключение

Задача



При серьезном дрожании область общего перекрытия становится маленькой

Задача – качественно заполнить неизвестные области информацией из прошлых кадров

Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
- Удаление motion blur
- Video completion
  - **Motion inpainting**
  - Space-time completion
- Заключение

Motion inpainting

- M_t – область неизвестных пикселей в кадре t
- Задача – получить $M_t = \emptyset, \forall t$
- Идея – image inpainting распространяет цвет в неизвестные области, а motion inpainting – движение

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Алгоритм
Начальное заполнение

1. Для каждого пикселя из M_t считаем дисперсию соответствующих ему пикселей из соседних кадров. Меньшая дисперсия – большая степень доверия
2. Если дисперсия меньше порога, то заполняем пиксель медианным значением соответствующих пикселей из соседних кадров, иначе оставляем
3. Если все пиксели из M_t заполнены, то переходим к следующему кадру

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Алгоритм
Приоритеты кадров

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

- Каждому кадру из окрестности присваивается приоритет, основанный на ошибке глобального преобразования:

$$e_{t'}^{t} = \sum_{\mathbf{p}_t} \left| I_t(\mathbf{p}_t) - I_{t'}(\mathbf{T}_t^{t'} \mathbf{p}_t) \right|$$

где суммирование ведется по общей области перекрытия I_t и $I_{t'}$

Дальнейшие шаги алгоритма проводим по $t' \in N_t$ в порядке приоритета (уменьшения $e_{t'}^{t}$)

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Алгоритм
Заполнение движением

- Предположение – движение в малой окрестности пикселя меняется слабо

$H(p_t)$ – множество соседних с p_t пикселей, в которых уже определено движение $F(q_t)$. $\forall q_t \in H(p_t)$ определим

$$\mathbf{F}(\mathbf{p}_t;\mathbf{q}_t) \approx \mathbf{F}(\mathbf{q}_t) + \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1(\mathbf{q}_t)}{\partial x} & \frac{\partial F_1(\mathbf{q}_t)}{\partial y} \\ \frac{\partial F_2(\mathbf{q}_t)}{\partial x} & \frac{\partial F_2(\mathbf{q}_t)}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

F_1 и F_2 – x и y компоненты вектора движения

$[u, v]^T$ – вектор смещения $p_t - q_t$

Движение оценивается по кадру t' из окрестности t

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Алгоритм
Весовые коэффициенты

Движение в p_t: $F(p_t) = \frac{\sum_{q_t \in H(p_t)} w(p_t,q_t) * F(p_t,q_t)}{\sum_{q_t \in H(p_t)} w(p_t,q_t)}$

Веса: $w(p_t, q_t) = \mathrm{g}(p_t, q_t)\mathrm{c}(p_t, q_t)$

Геометрическая значимость: $\mathrm{g}(p_t, q_t) = \frac{1}{\|p_t - q_t\|}$

Соответствие цветов: $\mathrm{c}(p_t, q_t) = \frac{1}{\|I_{t'}(q_{t'} + p_t - q_t) - I_{t'}(q_{t'})\| + \epsilon}$

У p_t нет цвета, поэтому смотрим в кадр $I_{t'}$

Если $(q_{t'} + p_t - q_t)$ или $(q_{t'})$ попадают в неизвестную область, то оставляем p_t незаполненным

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Алгоритм
Заполнение цветом

GRAPHICS & MEDIA LAB
VIDEO GROUP

- Для тех p_t, для которых известны $F(p_t)$:

$$I_t(p_t) = I_{t'}(T_t^{t'} F(p_t))$$

Если остались неизвестные пиксели, то переходим к кадру t' с меньшим приоритетом (большим $e_t^{t'}$) и повторяем motion inpainting

После прохода по всей окрестности могут остаться крайне малые незаполненные области, для которых применяем простую интерполяцию

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Результаты (1)

Вход | Выход | Оригинал

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Результаты (2)

Вход | Выход | Оригинал

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Выводы

Достоинство:

- Универсальный. Применим для удаления объектов, логотипов, надписей

Недостаток:

- Сильно зависит от ошибки определения движения

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Результаты
Видео (1)

Оригинал | Результат | Заполнение

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Результаты
Видео (2)

Оригинал | Результат | Заполнение

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Скорость работы

	Computational Cost (%)	Number of times
Global motion estimation	5.26%	N
Motion smoothing	0.05%	N (using $2k$ motions)
Local motion estimation	84.25 %	$2kN$
Motion inpainting	7.20%	$2kN$
Image warping	1.47 %	(2k+1)N for global warping, $2kN$ for local warping
Image deblurring	1.77%	N (using $2k+1$ images)

Общая скорость – 2.2 fps @ Pentium4 @ 2.2 ГГц

Разрешение видео – 720x486, k = 6

Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005

Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
- Удаление motion blur
- Video completion
  - Motion inpainting
  - **Space-time completion**
- Заключение

Space-time completion

Видео A и B визуально согласованы, если любой пространственно-временной блок из A может быть найден где-то в B

S – входная последовательность

$H \in S$ – пространственно-временная дыра

Задача – заполнить H новыми данными H^* так, чтобы получившаяся последовательность S^* была как можно более визуально согласована с $T = S \setminus H$

Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Мера согласованности

$$\text{Coherence}(\mathcal{S}^*|\mathcal{T}) = \sum_{p \in \mathcal{S}^*} \max_{q \in \mathcal{T}} s\left(W_p, W_q\right)$$

p, q – пространственно-временные точки (x, y, t)

W_p, W_q – блоки, содержащие p и q. Авторы рассматривают 5x5x5 окрестности

$s(W_p, W_q)$ – мера похожести двух блоков

Заполнение H с максимизацией согласованности ведет к визуально приемлемым решениям

Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Мера похожести

Каждой пространственно-временной точке $p(x, y, t)$ соответствует вектор (R, G, B, u, v)

$u = \frac{Y_t}{Y_x}$, $\mathrm{v} = \frac{Y_t}{Y_y}$

(Y_x, Y_y, Y_t) – производные по x, y, t

$d(W_p, W_q) = \sum_{(x,y,t)} \|W_p(x, y, t) - W_q(x, y, t)\|^2$

$W_p(x, y, t)$ – пятимерные вектора (R, G, B, u, v)

$s(W_p, W_q) = e^{\frac{-d(W_p, W_q)}{\alpha}}$ – мера похожести (α – параметр)

Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Заполнение

Условия визуальной согласованности:

- $\forall p = p(x, y, t)$ все W_{p^i}, содержащие p должны согласовываться по цвету p
- Все W_{p^i} должны содержаться в $S \setminus H$

Пусть $p \in H, W_{p^i}$ – все блоки, содержащие p, а W_{q^i} – блоки из $S \setminus H$, наиболее похожие на W_{p^i} по мере s

Наиболее вероятный цвет c точки p минимизирует дисперсию цветов, предложенных блоками W_{q^i}

Степень доверия блоку W_{q^i}: $s_i = s(W_{q^i}, W_{p^i})$

Итог: ищем c, минимизируя $\sum_i s_i (c - c_i)^2$

Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Оптимизация алгоритма

- Сложность поиска наиболее похожего пространственно-временного блока $O(D^3 \cdot N)$

$D = 5$ – размеры блока

$N = (\text{ширина}) * (\text{высота}) * (\text{количество кадров})$

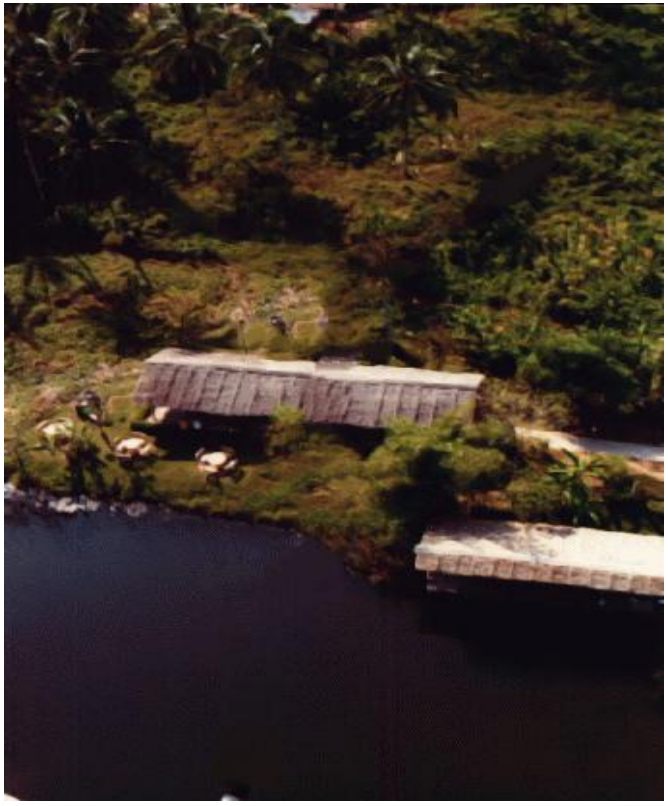
1. Для всех p считаем (u, v)
2. Выбираем k лучших совпадений по двум компонентам
3. Сравниваем k блоков, кардинально уменьшая сложность

Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Результаты (1)

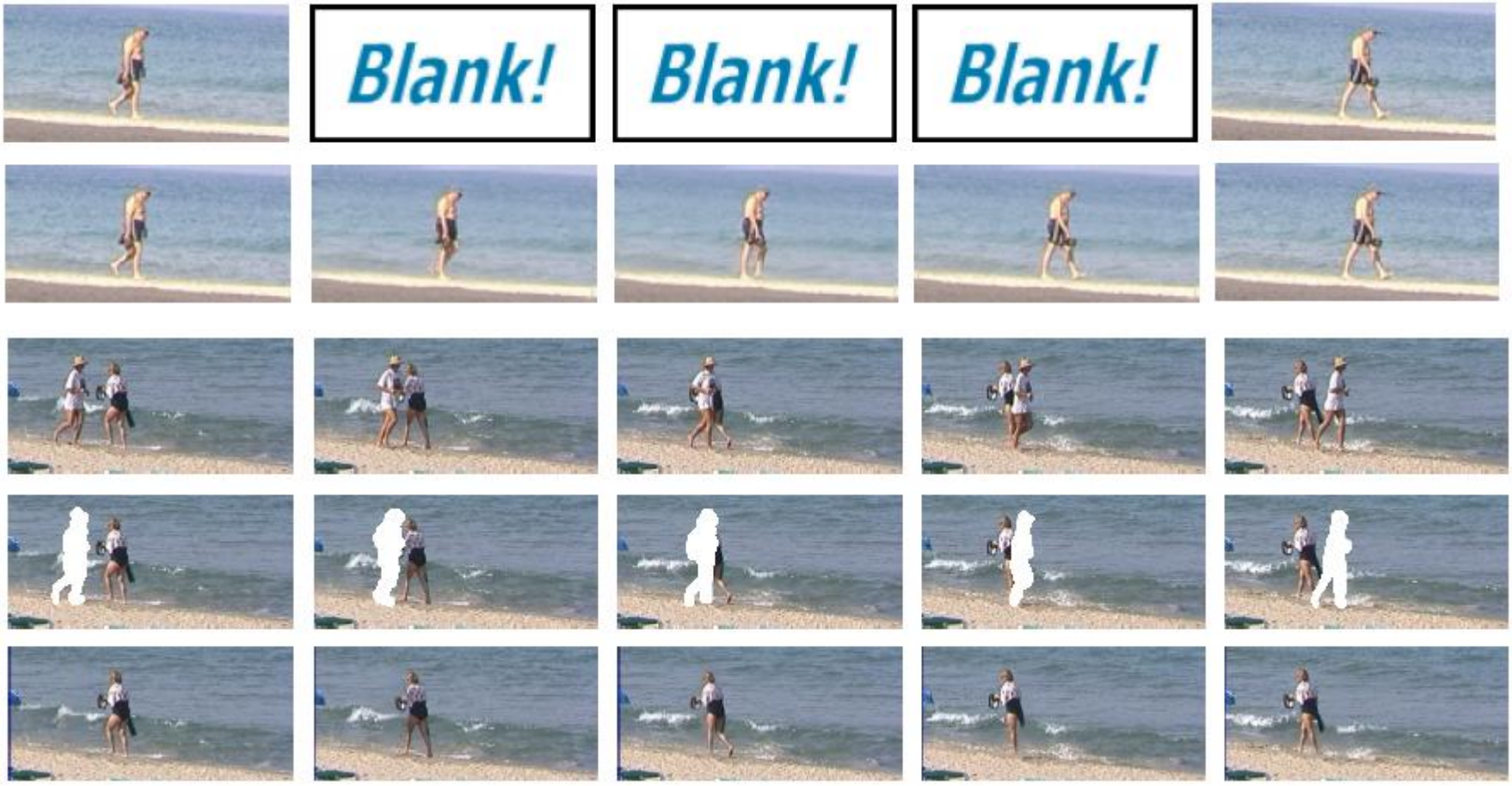
Оригинал

Результат



Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Результаты (2)



Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Результаты
Видео

Оригинал

Результат

Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004

Выводы

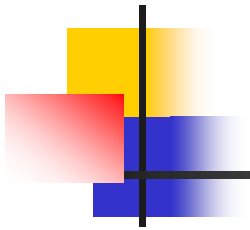
Достоинства:

- Универсальность. Можно удалять целые кадры из последовательности
- Качественное восстановление даже при быстром движении

Недостатки:

- Низкая скорость на больших зонах заполнения

Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004



Содержание

- Введение
- Сглаживание траектории
- Удаление motion blur
- Video completion
- **Заключение**

Заключение

В ходе рассмотрения этапов программной стабилизации приводились алгоритмы:

- Сглаживание траектории, удаление motion blur, motion inpainting, составляющие полноценный стабилизатор
- Optimal Camera Path – элемент стабилизатора из видеоредактора YouTube
- Space-time completion, потенциально – замена motion inpainting
- Dual-frame Deblurring, как альтернативный вариант удаления motion blur

Литература

1. Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang, H.-Y. Shum, "Full-frame Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.
2. M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, "Auto-Directed Video Stabilization", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011.
3. J.-F. Cai, H. Ji, C. Liu, Z. Shen, "High-quality curvelet-based motion deblurring from an image pair", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009.
4. Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, "Space-time video completion", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004.

Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа

Видеогруппа — это:

- Выпускники в аспирантурах Англии, Франции, Швейцарии (в России в МГУ и ИПМ им. Келдыша)
- Выпускниками защищено 5 диссертаций
- Наиболее популярные в мире сравнения видеокодеков
- Более 3 миллионов скачанных фильтров обработки видео