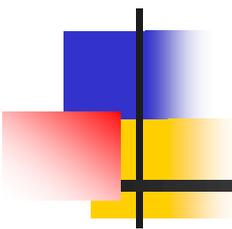
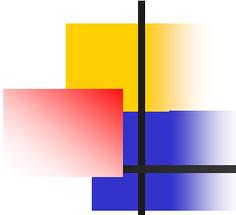


Цветонезависимое сопоставление стерео



Вячеслав Нападовский

Video Group
CS MSU Graphics & Media Lab



Содержание

- **Введение**
- Adaptive Normalized Cross-Correlation (ANCC)
- Blur and Contrast Invariants
- Вероятностные методы
- Illumination and Focus-Independent ME
- Заключение

Введение

Основная цель

Привести примеры метрик для вычисления разности между блоками на разных ракурсах, устойчивые к расхождениям

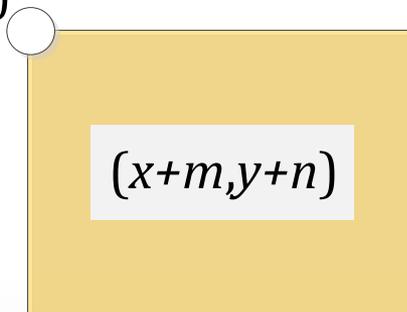
- по цвету
- по контрасту
- по фокусу

Стандартный подход

Метрики для блоков (1)

Левый ракурс (I_l)

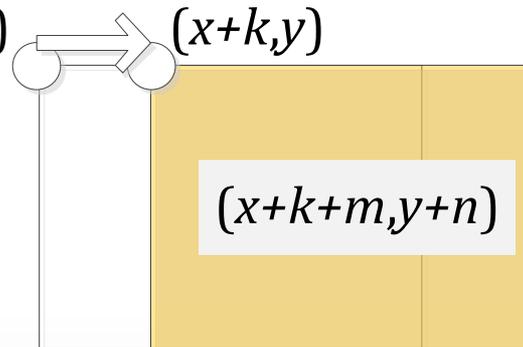
(x, y)



Блок для
сравнения

Правый ракурс (I_r)

(x, y)



Блок для
сравнения

k – диспаритет

Метрика соответствия блоков считается циклом по переменным m, n для всех соответствующих точек блоков

Стандартный подход

Метрики для блоков (2)

- $SAD(I_r(x, y), I_l(x + k, y)) =$

$$\sum_{m, n \in W} |I_r(x + m, y + n) - I_l(x + m + k, y + n)|$$

- $SSD(I_r(x, y), I_l(x + k, y)) =$

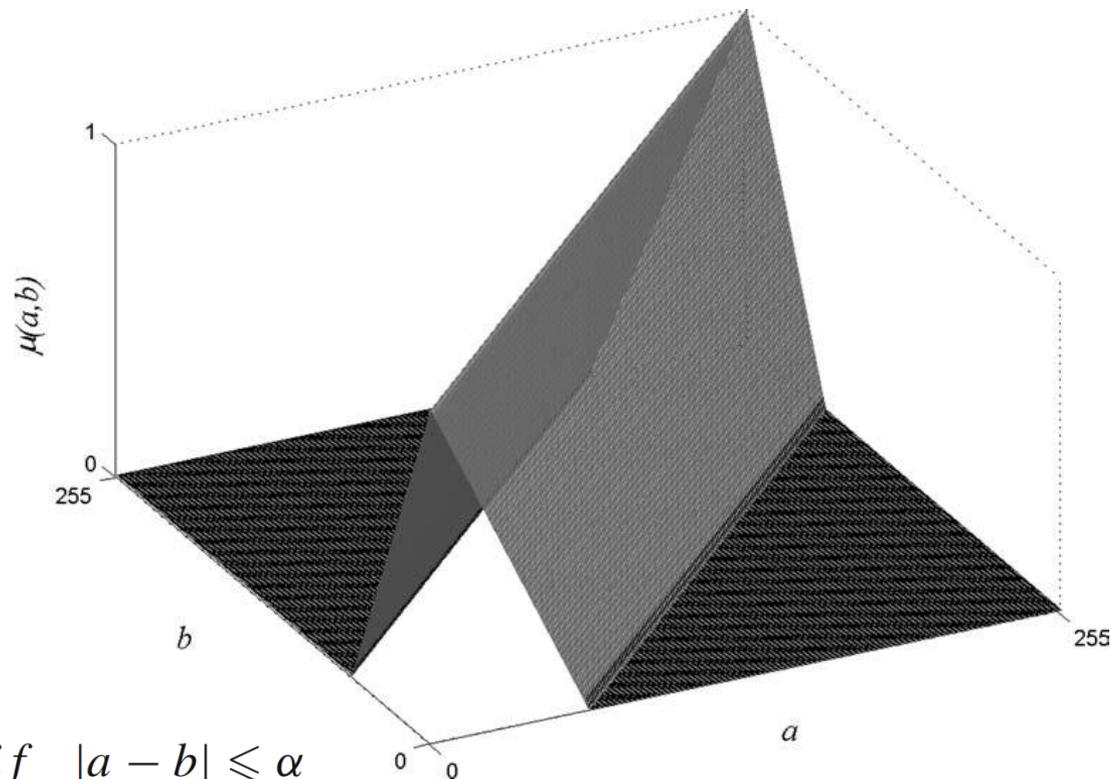
$$\sum_{m, n \in W} (I_r(x + m, y + n) - I_l(x + m + k, y + n))^2$$

- $SM_{Fuzzy_similarity}(I_r(x, y), I_l(x + k, y)) =$

$$\frac{1}{m \times n} \sum_{m, n \in W} \left(1 - \frac{|I_r(x + m, y + n) - I_l(x + m + k, y + n)|}{\alpha} \right), \quad \alpha = 16$$

Стандартный подход

Fuzzy Similarity



$$\mu(a, b) = \begin{cases} 1 - |a - b|/\alpha & \text{if } |a - b| \leq \alpha \\ 0 & \text{elsewhere,} \end{cases}$$

α – КОНСТАНТА

Tolt G., Kalaykov I., "Measures Based on Fuzzy Similarity for Stereo Matching of Color Images," Soft Computing – A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications, vol.10, 2006

Стандартный подход

Выводы

Достоинства:

- Данные метрики просты в реализации
- Их вычисление хорошо оптимизируется

Недостаток:

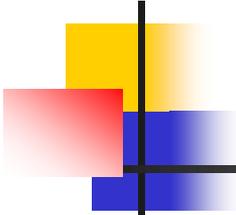
- Не учитывает возможные расхождения ракурсов по цвету и фокусу

Введение

Решаемые задачи

Приводимые далее метрики могут быть использованы в алгоритмах нахождения

- Disparity Map
- Optical Flow (OF)
- Motion Estimation (ME)



Содержание

- Введение
- **Adaptive Normalized Cross-Correlation (ANCC)**
- Blur and Contrast Invariants
- Вероятностные методы
- Illumination and Focus Independent ME
- Заключение

Метод ANCC

Алгоритм

Метод Adaptive Normalized Cross-Correlation:

1. Вычислить коэффициенты для метрики по всему изображению отдельно для левого и правого ракурса
2. Применить Graph-cut based метод для определения disparity map

При решении задачи Graph-cut учитывается текстурная и цветовая похожесть блоков

Метрика отличия блоков

Текстурная составляющая (1)

$$R''_L(p) = \log \frac{a_L}{\sqrt[3]{a_L b_L c_L}} + \gamma_L \log \frac{R_L(p)}{\sqrt[3]{R_L(p) G_L(p) B_L(p)}}$$

$$\triangleq \alpha_L + \gamma_L K_L(p).$$

$$R'''_L(t) = \gamma_L \left(K_L(t) - \frac{\sum_{t \in W(p)} w_L(t) K_L(t)}{Z(p)} \right)$$

R'''_L – преобразованная R-компонента пикселя

$a_{L(R)}, b_{L(R)}, c_{L(R)}, \gamma_{L(R)}$ – глобальные коэффициенты; определяются из предположения серого мира для левого (правого) ракурса

$R_{L(R)}(p), G_{L(R)}(p), B_{L(R)}(p)$ – RGB-компоненты пикселя p на левом (правом) ракурсе

$w_{L(R)}(t)$ – ядро кросс-билатерального фильтра

$W(p)$ – рассматриваемая окрестность пикселя p

$Z(p)$ – нормирующая константа

Метрика отличия блоков

Текстурная составляющая (2)

$$w(t) = \exp\left(-\frac{\|p - t\|^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|I(p) - I(t)\|^2}{2\sigma_s^2}\right)$$

p – центр окрестности

t – точка из окрестности

σ_d, σ_s – константы

$I(p)$ – яркость пикселя p

Метрика похожести текстуры:

$$ANCC_{logChrom_R}(f_p) = \frac{\sum_{i=1}^M w_L(t_i)w_R(t_i)[R_L'''(t_i)] \times [R_R'''(t_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M |w_L(t_i)R_L'''(t_i)|^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^M |w_R(t_i)R_R'''(t_i)|^2}}$$

Метрика отличия блоков

Цветовая составляющая

$$\hat{R}_L(t_i) = R_L^o(t_i) - \frac{\sum_{t \in W(p)} w_L(t) R_L^o(t)}{Z(p)}$$

$$ANCC_R(f_p)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^M w_L(t_i) w_R(t_i) [\hat{R}_L(t_i)] \times [\hat{R}_R(t_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M |w_L(t_i) \hat{R}_L(t_i)|^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^M |w_R(t_i) \hat{R}_R(t_i)|^2}}$$

$R_{L(R)}^o(t_i)$ – R-компонента пикселя t_i на левом (правом) ракурсе

Метрика отличия блоков

$$D_p(f_p) = 1 - \left[\theta \sum_{\xi} \frac{ANCC_{\xi}(f_p)}{3} + (1 - \theta) \sum_k \frac{ANCC_k(f_p)}{3} \right]$$

$$\xi \in \{logChrom_R, logChrom_G, logChrom_B\}$$

$$k \in \{R, G, B\}$$

θ – коэффициент отношения между цветовой и текстурной составляющей

$D_p(f_p)$ – значение метрики для пикселя f_p

Результаты

Последовательность Dolls

левый
ракурс



правый
ракурс



Ground
truth

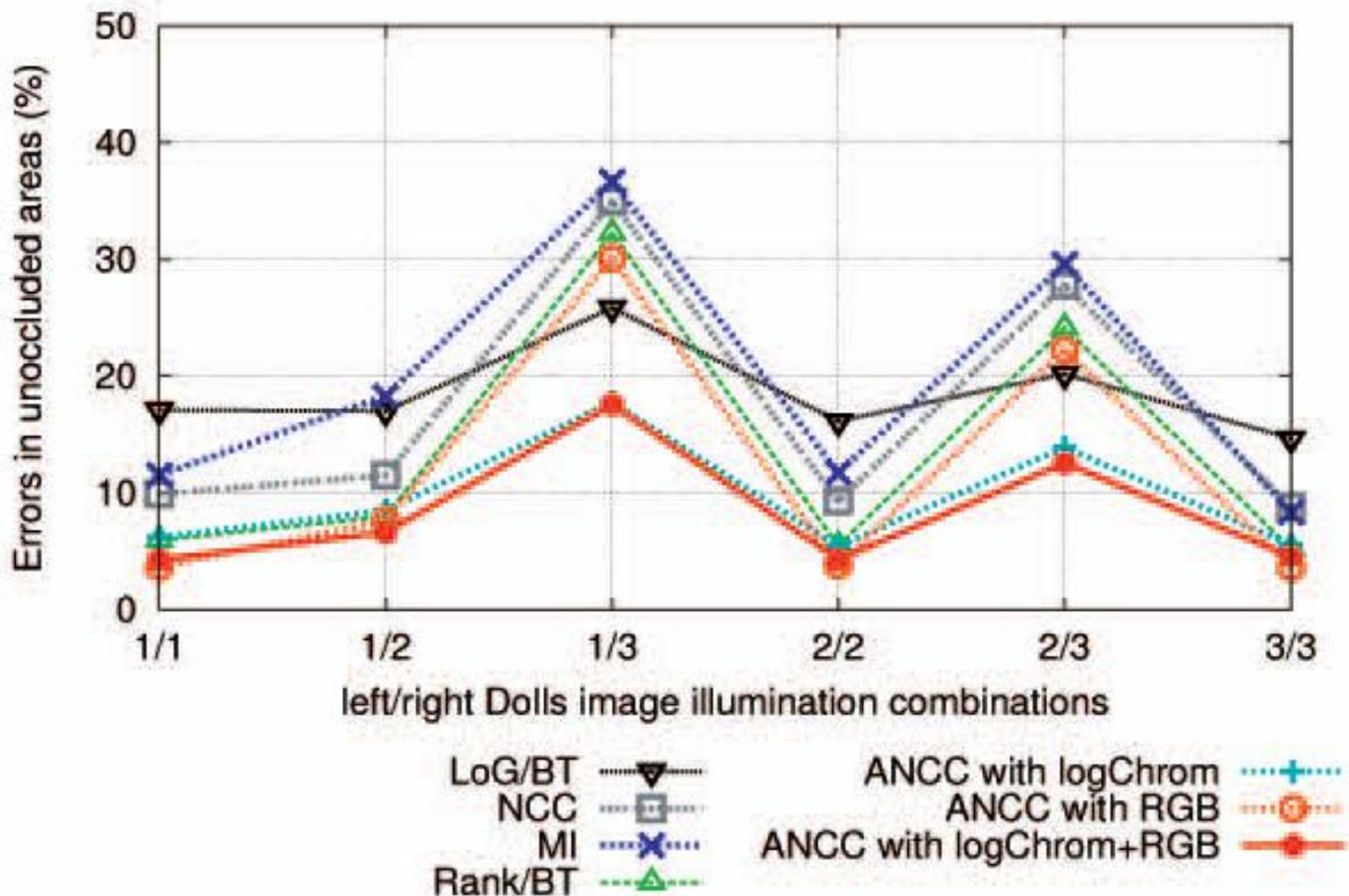


результат
алгоритма



Yong Seok Heo, Kyong Mu Lee, Sang Uk Lee, "Robust Stereo Matching Using Adaptive Normalized Cross-Correlation," IEEE Transac. on PAMI, 2011

Результаты Сравнение



Yong Seok Heo, Kyong Mu Lee, Sang Uk Lee, "Robust Stereo Matching Using Adaptive Normalized Cross-Correlation," IEEE Transac. on PAMI, 2011

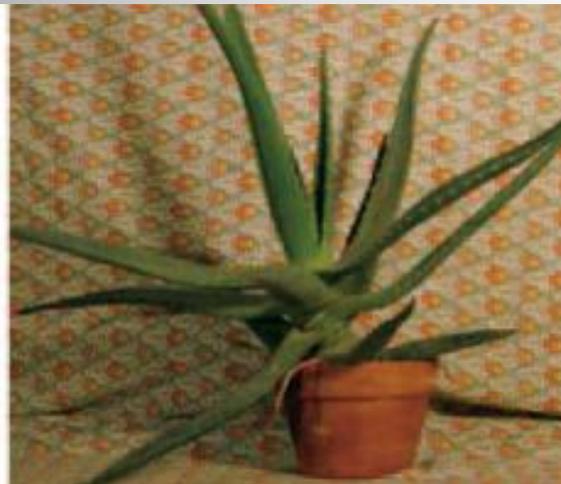
Результаты

Последовательность Aloe

левый
ракурс



правый
ракурс



Ground
truth

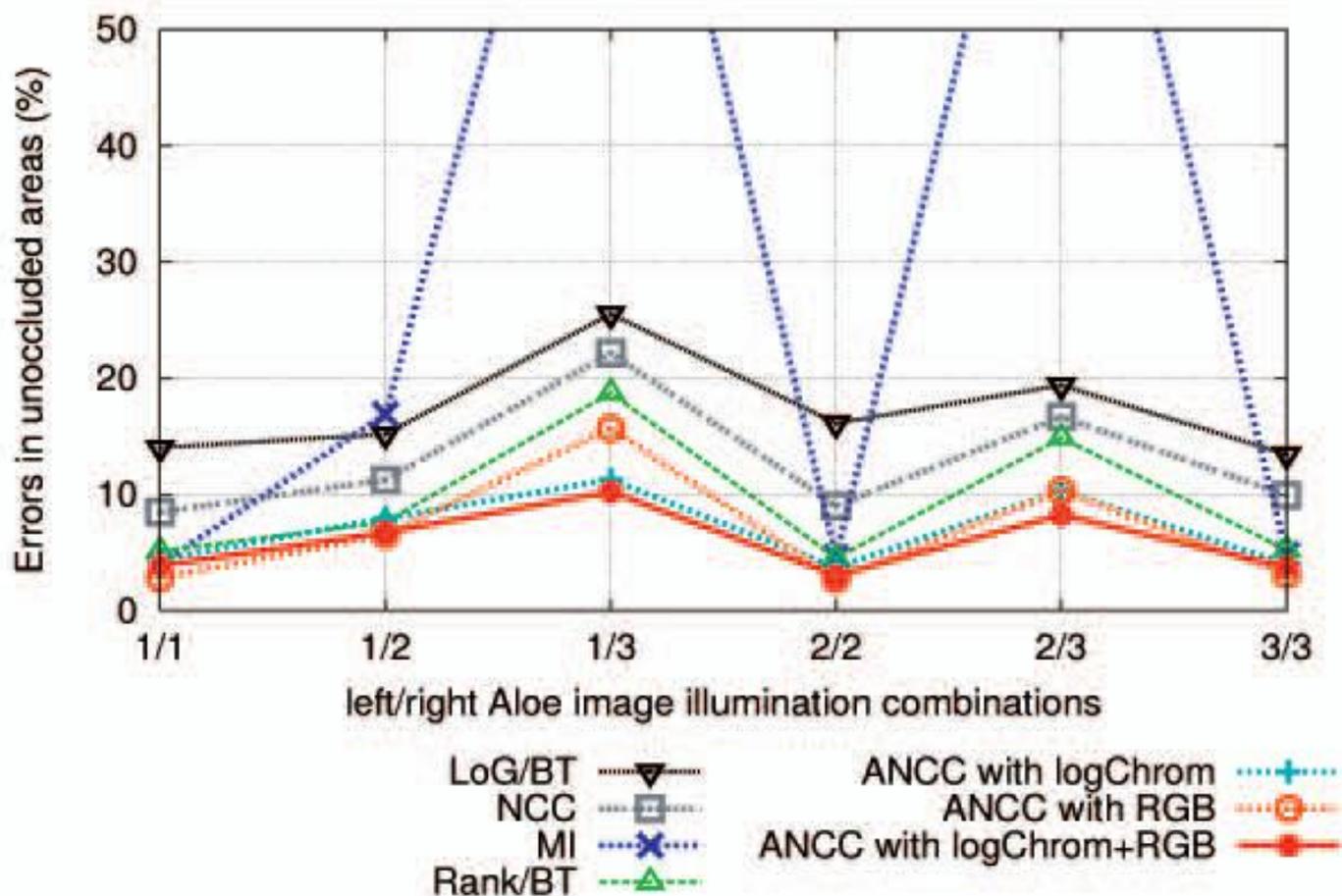


результат
алгоритма



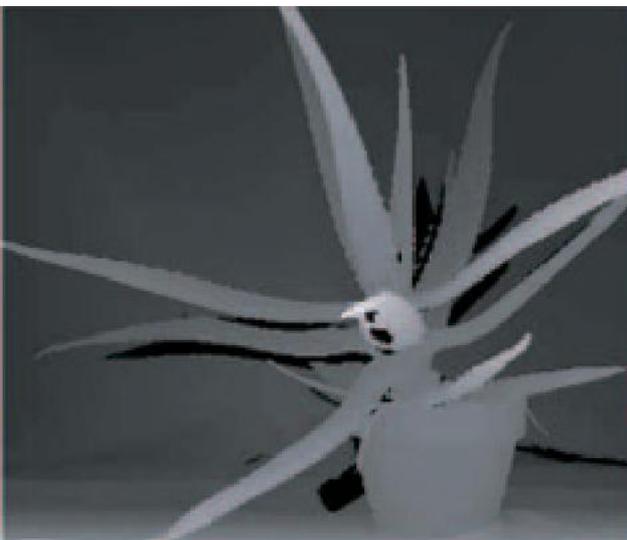
Yong Seok Heo, Kyong Mu Lee, Sang Uk Lee, "Robust Stereo Matching Using Adaptive Normalized Cross-Correlation," IEEE Transac. on PAMI, 2011

Результаты Сравнение (1)

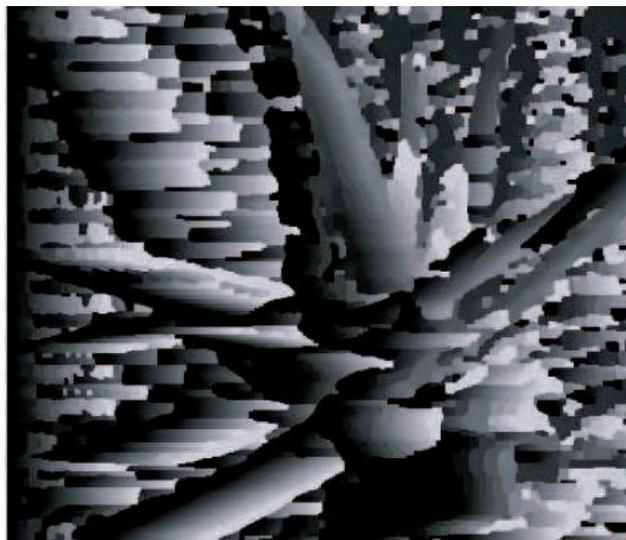


Yong Seok Heo, Kyong Mu Lee, Sang Uk Lee, "Robust Stereo Matching Using Adaptive Normalized Cross-Correlation," IEEE Transac. on PAMI, 2011

Результаты Сравнение (2)



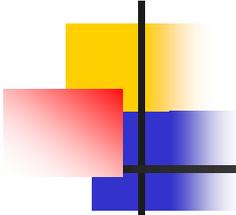
Ground truth



Graph-cut based
method with
SAD metric



результат авторов
статьи



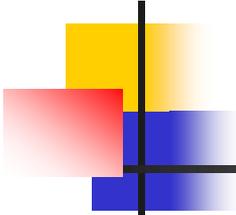
Выводы

Достоинства:

- Устойчивость к цветовым искажениям между ракурсами
- Использование текстурной информации блоков

Недостаток:

- Вычислительная сложность



Содержание

- Введение
- Adaptive Normalized Cross-Correlation (ANCC)
- **Blur and Contrast Invariants**
- Вероятностные методы
- Illumination and Focus Independent ME
- Заключение

Blur and Contrast Invariants

Идея метода (1)



- На входе – ректифицированное изображение
- На выходе – disparity map
- Алгоритм использует дескрипторы, основанные на фазе направления градиента в окрестности пикселя
- Ошибка для блока вычисляется на основе совпадения фаз градиентов

Blur and Contrast Invariants

Идея метода (2)



- Алгоритм ищет наилучшее приближение для блока только по горизонтали
- Для выбора наилучшего приближения используется сравнение по метрике Fuzzy Similarity
- Для подавления скачков контраста используется нормализованная метрика SAD

Формализация метода

Теоретический описатель дескриптора для блока A ($N \times N$):

$$G^k(A) = \{2k\Phi_A(u, v) \mid 0 \leq u, v \leq N - 1\}$$

Разность фаз соответствующих блоков на разных ракурсах:

$$\Phi_L(u, v) - \Phi_R(u, v) \approx \frac{2\pi u}{W}t$$

Формальное описание дескриптора:

$$D_{r,s}^{k,b}(A) = \left\{ \left[\frac{2^{b-1}}{\pi} \arg(\mathcal{F}_A(u, v)^k) \right] \mid u \in [0, r], v \in [-s, s], u + \operatorname{sgn}(v - 1) \geq 0 \right\}$$

$$b, r, s \geq 0, k \in \{1, 2\}$$

$\Phi_A(u, v)$ – фазовое значение в спектральном домене

k – коэффициент

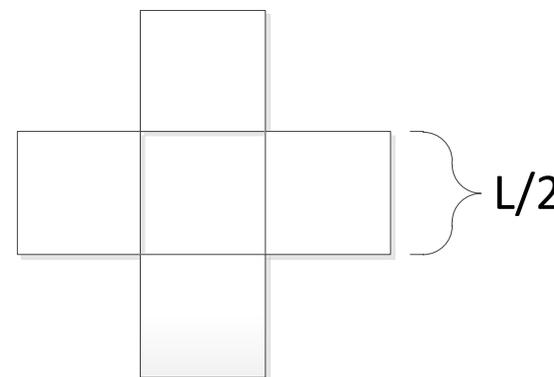
$F_A(u, v)$ – спектральная компонента блока A с координатами (u, v)

Blur and Contrast Invariants



Алгоритм

1. Для каждого пикселя рассматривается окрестность, состоящая из 5 окон
2. Для каждого окна ищется значение диспаратета
3. Затем результат сглаживается с помощью Dynamic Programming Scanline Optimization



L – минимальный диаметр дескриптора

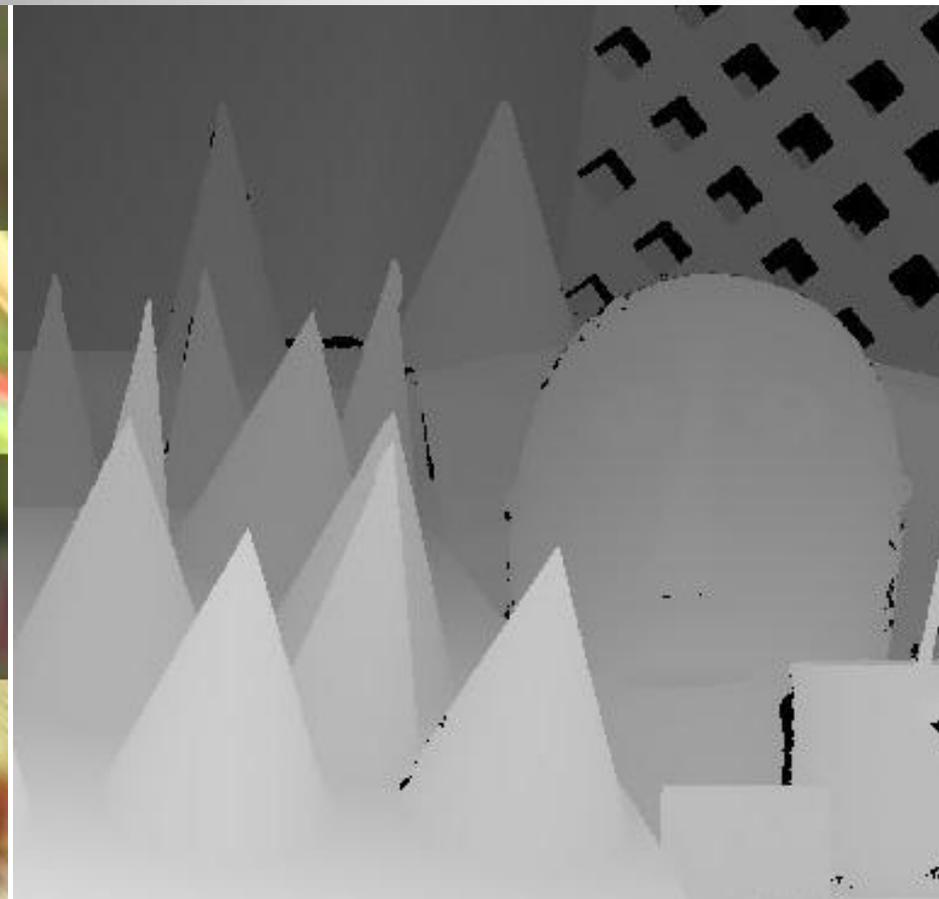
Blur and Contrast Invariants



Результаты (1)



один из ракурсов



Ground truth

Blur and Contrast Invariants



Результаты (2)



один из ракурсов

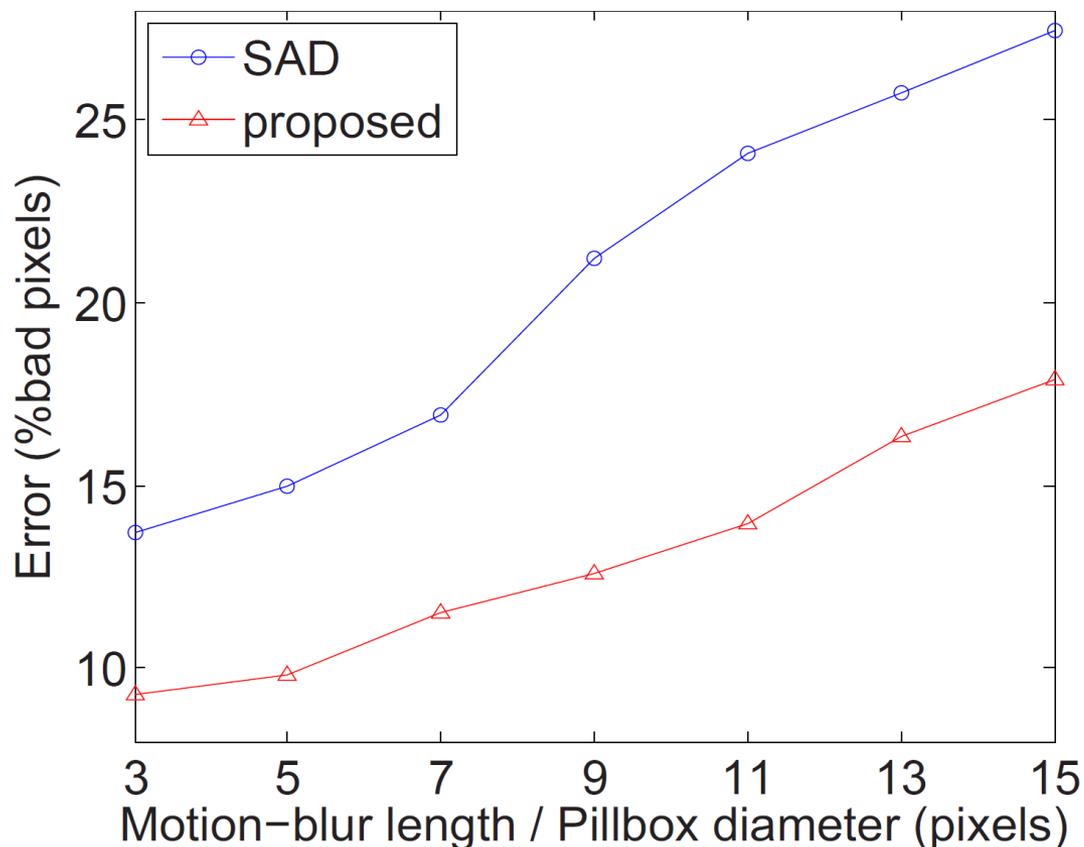
результат

Blur and Contrast Invariants

Результаты (3)

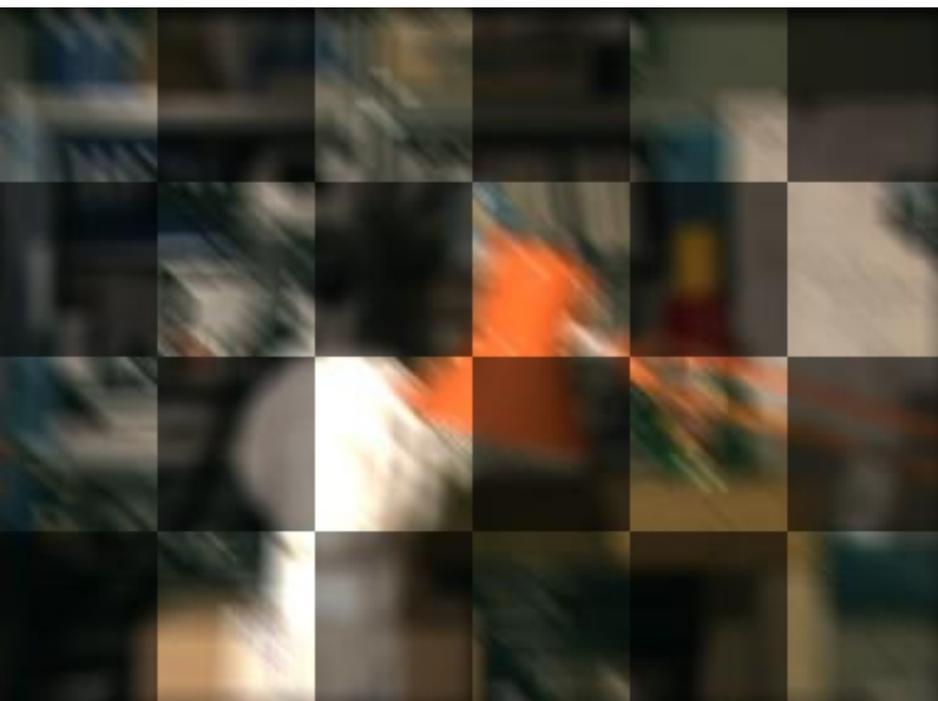


Сравнение с SAD + Graph-cut методом



Blur and Contrast Invariants

Результаты (4)



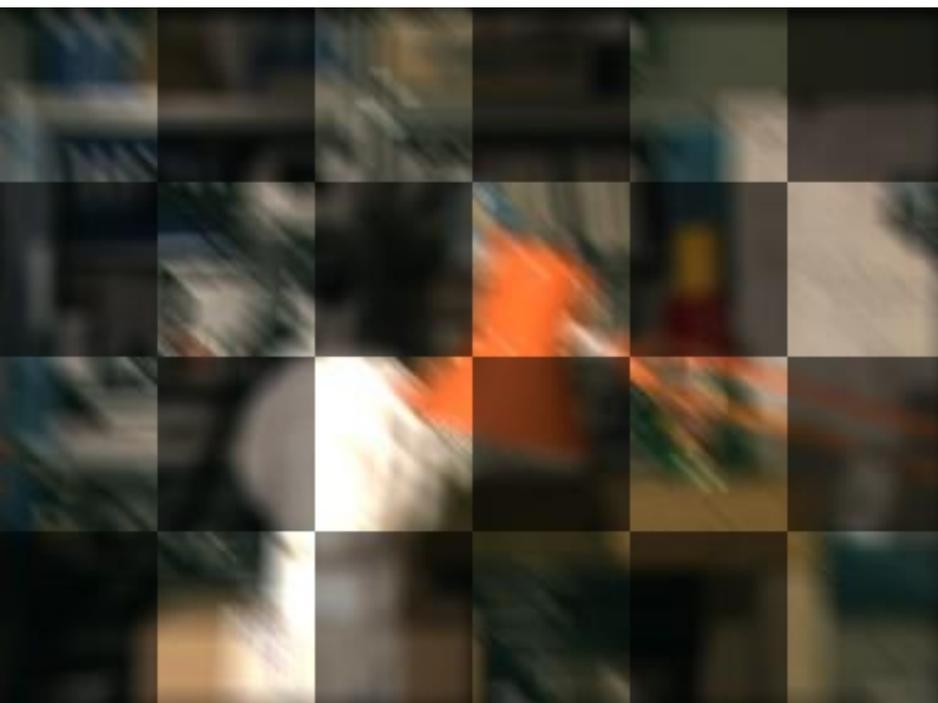
один из ракурсов



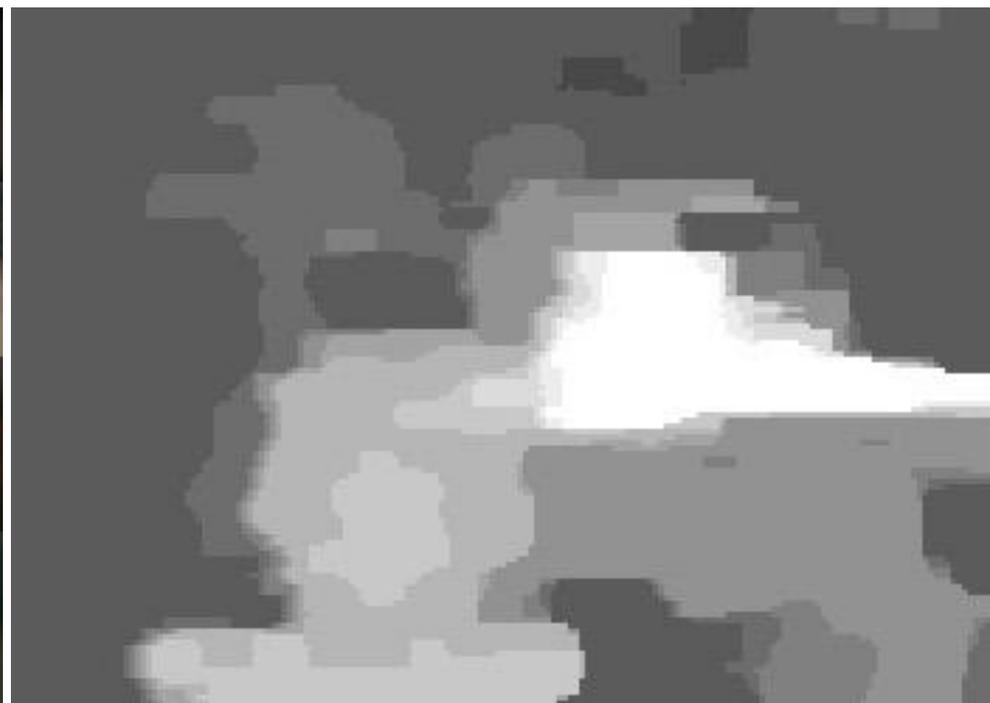
Ground truth

Blur and Contrast Invariants

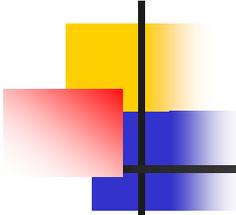
Результаты (5)



один из ракурсов



результат



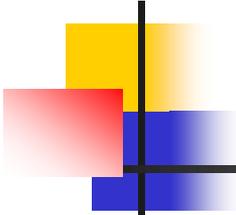
Выводы

Достоинства:

- Устойчивость:
 - к Gaussian blur
 - к motion blur
 - к изменениям по яркости

Недостаток:

- На резких картинках даёт размытый результат



Содержание

- Введение
- Adaptive Normalized Cross-Correlation (ANCC)
- Blur and Contrast Invariants
- **Вероятностные методы**
- Illumination and Focus Independent ME
- Заключение

Идея методов

Для каждого блока вычисляется матрица локального преобразования \mathbf{M} с использованием Maximum-Likelihood (ML) и Maximum A Posteriori (MAP) методов:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_Y \\ \mathbf{m}_U \\ \mathbf{m}_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y_{cor} \\ U_{cor} \\ V_{cor} \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} Y_{ori} \\ U_{ori} \\ V_{ori} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_Y \\ \mathbf{m}_U \\ \mathbf{m}_V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{ori} \\ U_{ori} \\ V_{ori} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$Y_{ori}, U_{ori}, V_{ori}$ – YUV-компоненты точек исправляемого ракурса

$Y_{cor}, U_{cor}, V_{cor}$ – исправленные значения цвета

Maximum-Likelihood method

Компонента \mathbf{m}_Y (\mathbf{m}_U , \mathbf{m}_V) матрицы \mathbf{M} находится путём минимизации функции:

$$\hat{\mathbf{m}}_Y^{ML} = \arg \min_{\mathbf{m}_Y} C_{ML}$$

$$C_{ML} = \sum_{i=0}^{N-1} |Y_{ref}^i - \mathbf{m}_Y [Y_{ori}^i, U_{ori}^i, V_{ori}^i, 1]^T|$$

- Y_{ref}^i – Y-компонента i -ой точки reference block
- Y_{ori}^i U_{ori}^i V_{ori}^i – YUV-компоненты i -ой точки в соответствующем блоке на другом ракурсе

Maximum A Posteriori method



Аналогичным образом находится компонента \mathbf{m}_Y (\mathbf{m}_U , \mathbf{m}_V) матрицы \mathbf{M} в этом методе:

$$\hat{\mathbf{m}}_Y^{MAP} = \arg \min_{\mathbf{m}_Y} \left\{ \frac{|Y_{ref}^i - \mathbf{m}_Y \mathbf{I}_{ori}^i|}{\lambda_1} + \frac{|\mathbf{m}_Y (\mathbf{I}_{ori}^i - \mathbf{I}_{ori}^{(i-1)}) - (Y_{ori}^i - Y_{ori}^{(i-1)})|}{\lambda_2} \right\}$$

$$\mathbf{I}_{ori} = [Y_{ori}, U_{ori}, V_{ori}, 1]^T$$

- Y_{ref}^i – Y-компонента i -ой точки reference block
- Y_{ori}^i U_{ori}^i V_{ori}^i – YUV-компоненты i -ой точки в соответствующем блоке на другом ракурсе
- λ_1, λ_2 – коэффициенты

Результаты

Reference view



Ling Hou, Au O. et al., "ML Versus MAP Based Local Illumination and Color Correction Algorithm for Multi-View Video," IEEE International Workshop on MMSP, 2009

Результаты

Current view



Ling Hou, Au O. et al., "ML Versus MAP Based Local Illumination and Color Correction Algorithm for Multi-View Video," IEEE International Workshop on MMSP, 2009

Результаты

ML based correction of current view



Ling Hou, Au O. et al., "ML Versus MAP Based Local Illumination and Color Correction Algorithm for Multi-View Video," IEEE International Workshop on MMSP, 2009

Результаты

MAP based correction of current view



Ling Hou, Au O. et al., "ML Versus MAP Based Local Illumination and Color Correction Algorithm for Multi-View Video," IEEE International Workshop on MMSP, 2009

Результаты Сравнение

reference
view



current
view



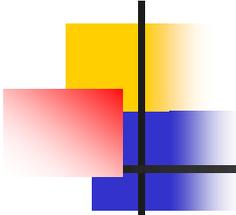
ML based
correction
of current
view



MAP based
correction
of current
view



Ling Hou, Au O. et al., "ML Versus MAP Based Local Illumination and Color Correction Algorithm for Multi-View Video," IEEE International Workshop on MMSP, 2009



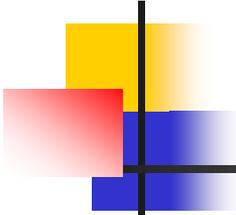
Выводы

Достоинство:

- Прост в реализации (используя MATLAB)

Недостаток:

- Авторы предполагают, что disparity map для блоков уже вычислен



Содержание

- Введение
- Adaptive Normalized Cross-Correlation (ANCC)
- Blur and Contrast Invariants
- Вероятностные методы
- **Illumination and Focus Independent ME**
- Заключение

Illumination and Focus Independent ME



Идея метода:

- Для вычисления ME между ракурсами используется метод Illumination Compensation (IC)
- Каждый блок перед сопоставлением раскладывается на среднее значение и текстурную составляющую
- Для обеспечения инвариантности к фокусу reference image фильтруется, и ME вычисляется повторно

Алгоритм

Вычисление метрики

SSDACⁱ

$$= \sum_{\forall(x,y)} \left\| [\mu_C - \mu_R^i - C^i] + [\omega_C(x,y) - S^i \cdot \omega_R^i(x,y)] \right\|^2$$

$$S^i = \frac{\sigma_{CR}^i}{\sigma_{RR}^i}$$

$$\sigma_{AB}^2 = \frac{1}{N} \sum_{\forall(x,y)} [B_A(x,y) - \mu_A] [B_B(x,y) - \mu_B]$$

$$A, B \in \{C, R\}$$

$$C^i = \mu_C - \mu_R^i$$

$$B_R^i(x,y) = \mu_R^i + \omega_R^i(x,y)$$

SSDACⁱ – значение метрики на *i*-ом reference block

μ_C, μ_R^i – среднее значение для current block и *i*-го reference block

ω_C, ω_R^i – несмещённое значение для current block и *i*-го reference block

B_R^i – *i*-ый reference block

Adaptive Reference Filtering

Алгоритм



1. Вычисляется MVF с использованием Illumination Compensation (IC)
2. Векторы из MVF группируются на 4 класса по глубине по значению векторов с помощью Expectation-Maximization (EM) algorithm based on the Gaussian Mixture Model (GMM)
3. Для каждого класса определяется ядро свёртки, преобразующее один ракурс к другому, скомпенсированному
4. Reference-ракурс фильтруется с использованием вычисленных ядер
5. Вновь вычисляется ME с IC

Jae Hoon Kim, PoLin Lai, Joaquin Lopez et al., "New Coding Tools for Illumination and Focus Mismatch Compensation in Multiview Video Coding," IEEE Transac. on CSVT, 2011

Результаты

Последовательности для тестов



Ballroom



Race1

Результаты Сегментация по глубине

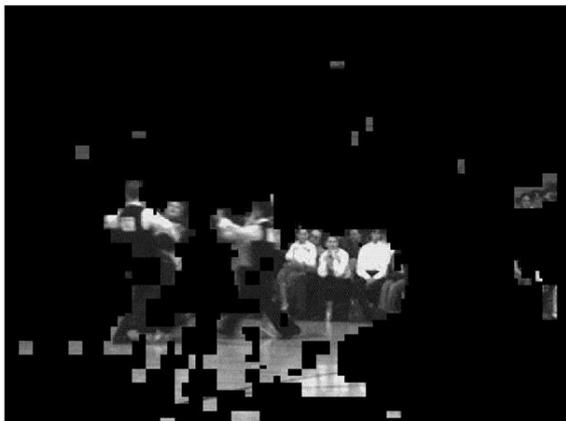
Current frame



Depth level 1



Depth level 2



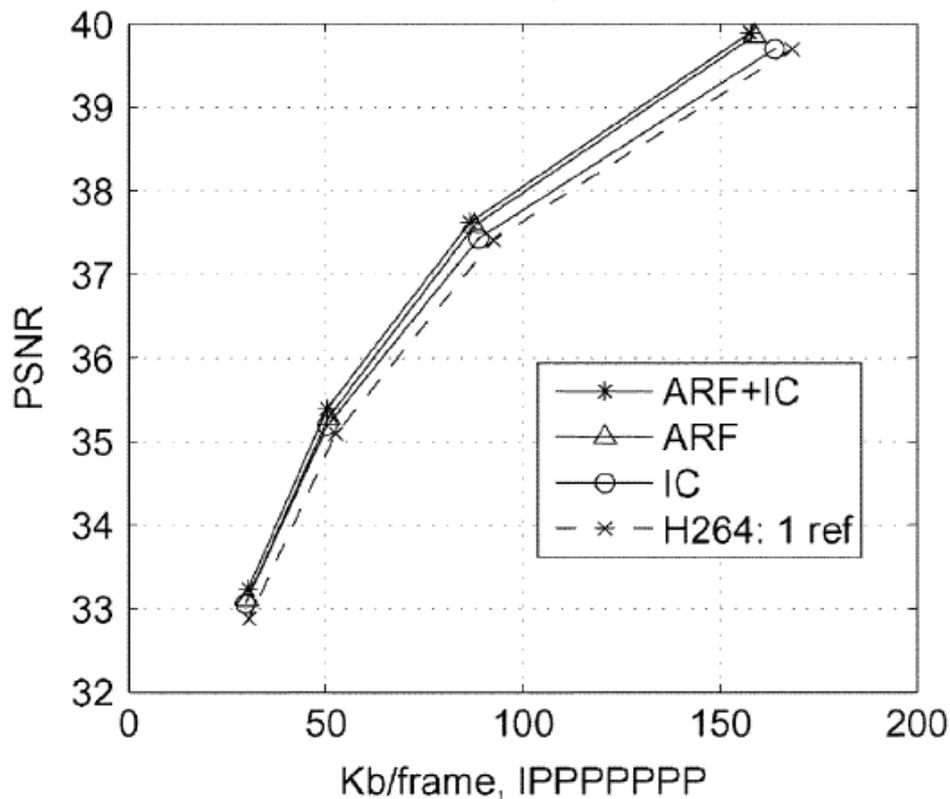
Depth level 3



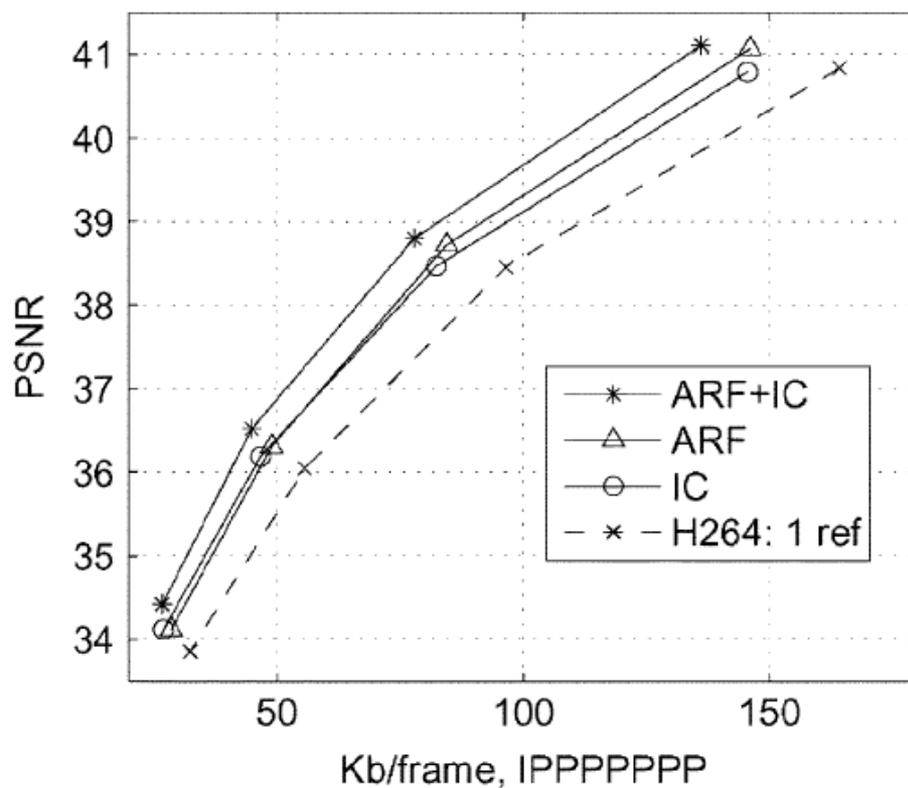
Jae Hoon Kim, PoLin Lai, Joaquin Lopez et al., "New Coding Tools for Illumination and Focus Mismatch Compensation in Multiview Video Coding," IEEE Transac. on CSVT, 2011

Результаты Сравнение методов

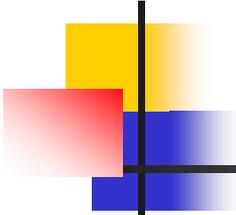
Ballroom: 640x480, View 0~View 7



Race1: 640x480, View 0~View 7



Jae Hoon Kim, PoLin Lai, Joaquin Lopez et al., "New Coding Tools for Illumination and Focus Mismatch Compensation in Multiview Video Coding," IEEE Transac. on CSVT, 2011



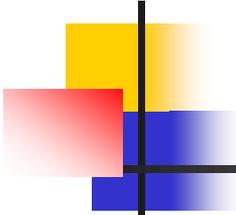
Выводы

Достоинства:

- Базируется на ME
- Прост в реализации

Недостаток:

- Использует первое приближение MVF для группировки блоков на классы, которое не учитывает расхождения по фокусу



Содержание

- Введение
- Adaptive Normalized Cross-Correlation (ANCC)
- Blur and Contrast Invariants
- Вероятностные методы
- Illumination and Focus Independent ME
- **Заключение**

Заключение

Выводы

- Метод с использованием Normalized Cross-Correlation метрики и метод, учитывающий фазовое значение в спектральном домене, стабильны к сильным искажениям по фокусу и яркости по мнению авторов
- Метод, использующий в качестве сегментации на разные уровни по глубине первое приближение MVF, может оказаться нестабильным к сильным искажениям

Заключение

Проделанная работа

- Улучшены результаты для Local Color Correction на областях с бликами
- Реализовано темпоральное сглаживание
- Написан патч, добавляющий цветонезависимую метрику в GML ME

Сравнение результатов

Левый ракурс



Сравнение результатов

Правый ракурс



TVP HD



Сравнение результатов Исправленный правый ракурс (было)



TVP HD



Сравнение результатов Исправленный правый ракурс (стало)

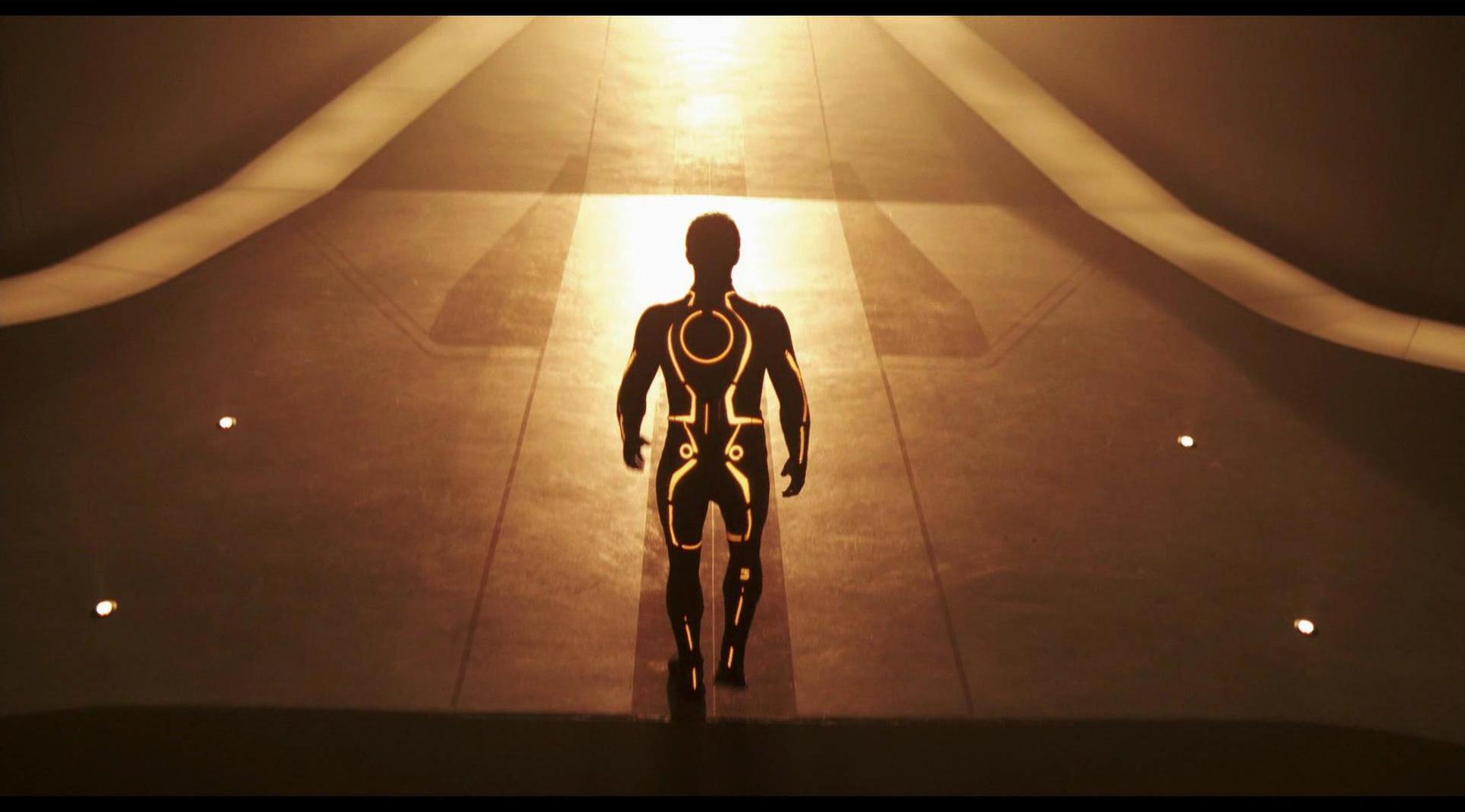


TVP HD



Сравнение результатов

Левый ракурс



Сравнение результатов

Правый ракурс



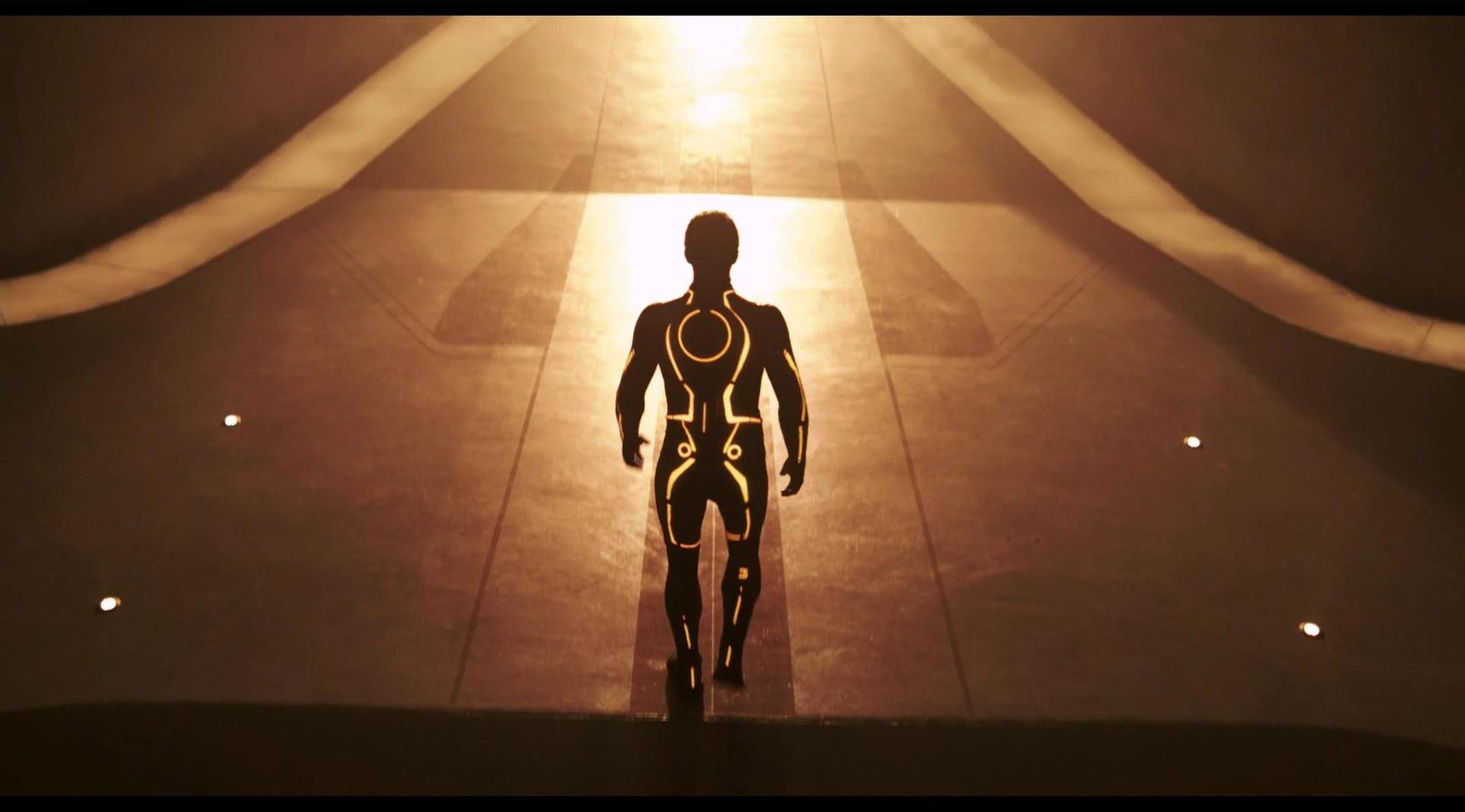
Сравнение результатов

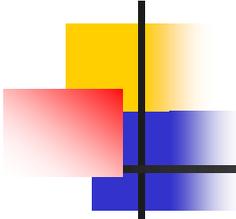
Исправленный правый ракурс (было)



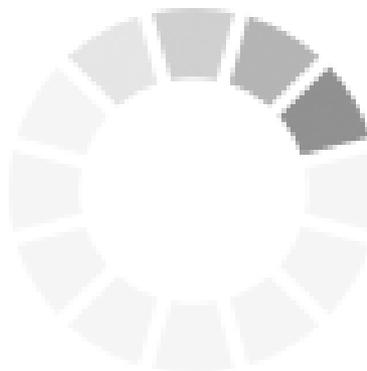
Сравнение результатов

Исправленный правый ракурс (стало)





Сейчас будет видео



Дальнейшие планы

- Написание метрики оценки качества стерео видео для VQMT 3D
- Интеграция локальной цветокоррекции в плагин для AAE
- Улучшение темпоральной стабильности локальной цветокоррекции
- Реализация алгоритма синхронизации двух ракурсов по времени

Литература (1)

1. Galar M., Pagola M., Barrenechea E., Lopez-Molina C., Bustince H., "Aggregation of Color Information in Stereo Matching Problem: A Comparison Study," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6098, pp. 369–378, 2010.
2. Yong Seok Heo, Kyong Mu Lee, Sang Uk Lee, "Robust Stereo Matching Using Adaptive Normalized Cross-Correlation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, pp. 807–822, April 2011.
3. Pedone M., Heikkila J., "Blur and Contrast Invariant Fast Stereo Matching," *Proceedings of the 10th International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS)*, pp. 883–890, 2008.

Литература (2)

4. Ling Hou, Au O., Xiaopeng Fan, Jiantao Zhou, "Maximum-Likelihood Versus Maximum A Posteriori Based Local Illumination and Color Correction Algorithm for Multi-View Video," *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)*, pp. 1-4, 5-7, October 2009
5. Jae Hoon Kim, PoLin Lai, Lopez J., Ortega A., Yeping Su, Peng Yin, Gomila C., "New Coding Tools for Illumination and Focus Mismatch Compensation in Multiview Video Coding," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 17, pp. 1519–1535, November 2011.

Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа



Видеогруппа — это:

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