

Обзор методов оценки «ИСТИННОГО» ДВИЖЕНИЯ



Денис Сумин

Video Group
CS MSU Graphics & Media Lab

Содержание

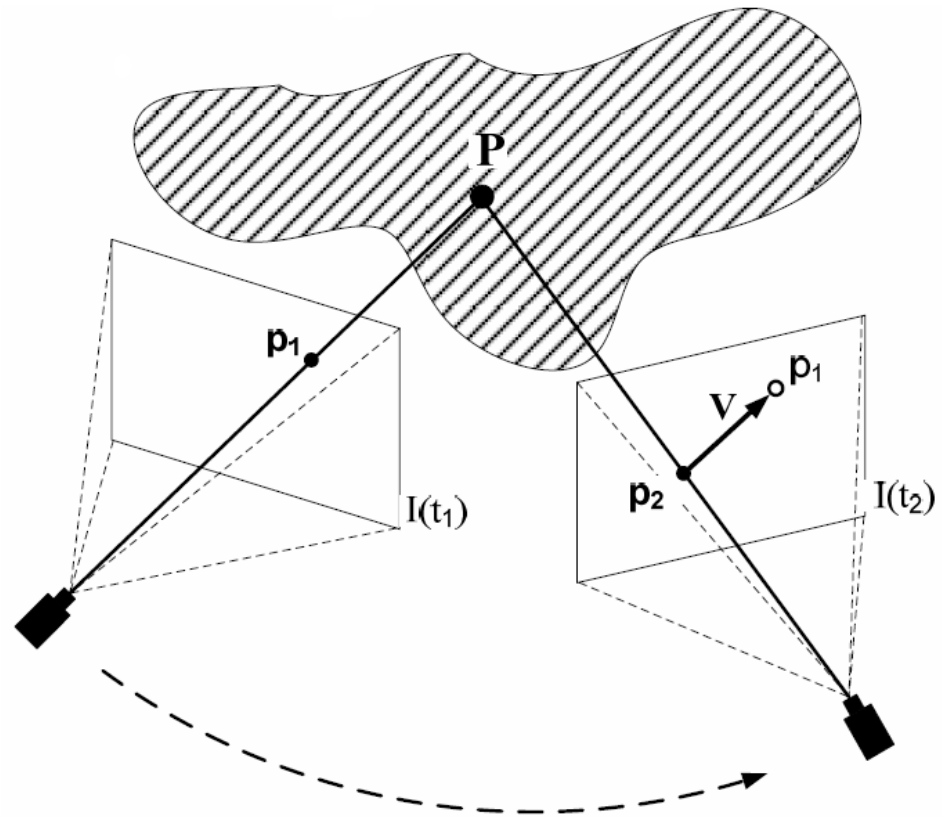
- **Введение**
- 3-D Recursive Search Block Matching
- Multi-Pass TME* with Vector Propagation
- Latest TME Algorithm
- Заключение

* TME — True Motion Estimation

Постановка задачи

Различие задач МЕ и ТМЕ

Для каждой точки P кадра $I(t_1)$ найти вектор v изменения координат этой точки между двумя заданными кадрами $I(t_1)$ и $I(t_2)$



Приложения ТМЕ

Или зачем нам это нужно

Классические задачи:

- Frame Rate Up Conversion
- Deinterlacing

Сейчас нам нужен ТМЕ для реализации:

- поиска областей открытия
- восстановления фона
- распространения глубины во времени
- построения карт диспаратета

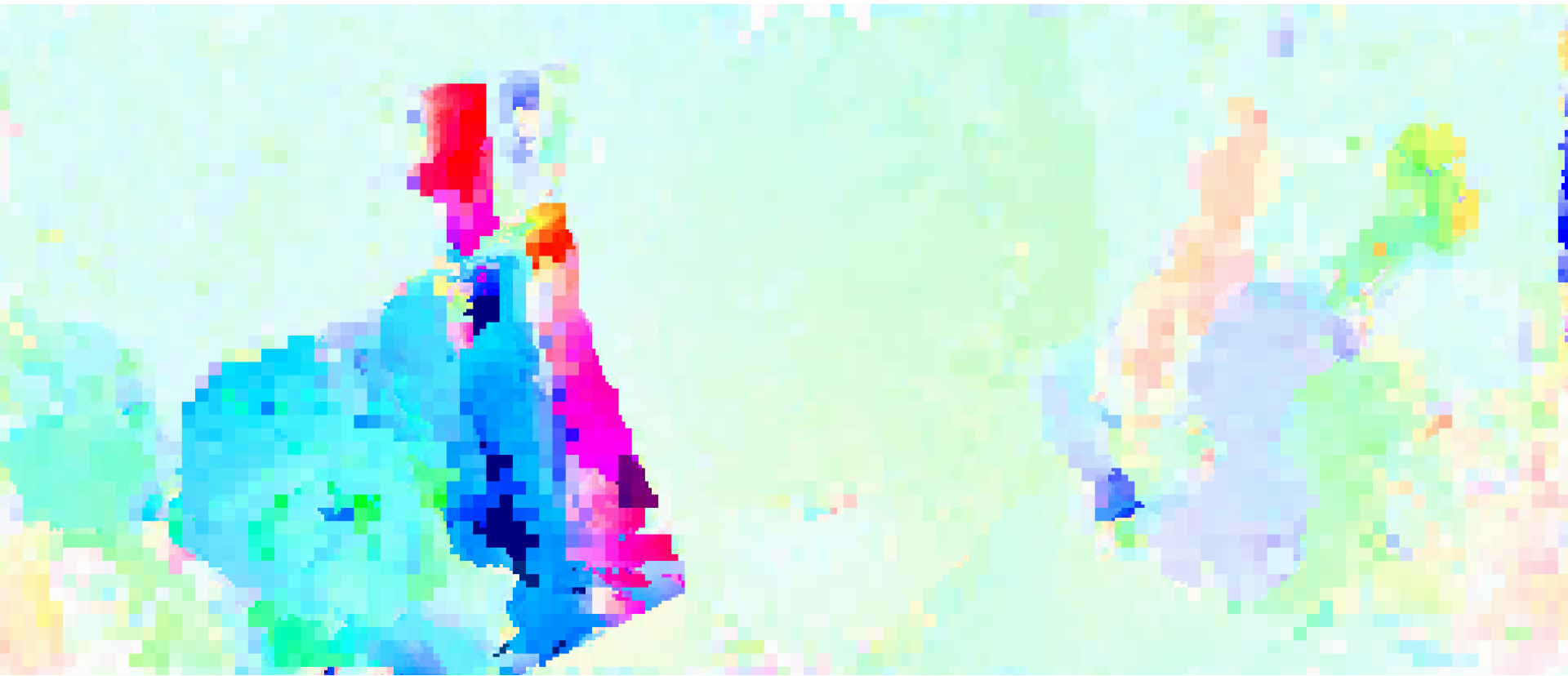
Что есть сейчас

ME и фильтрация поля векторов



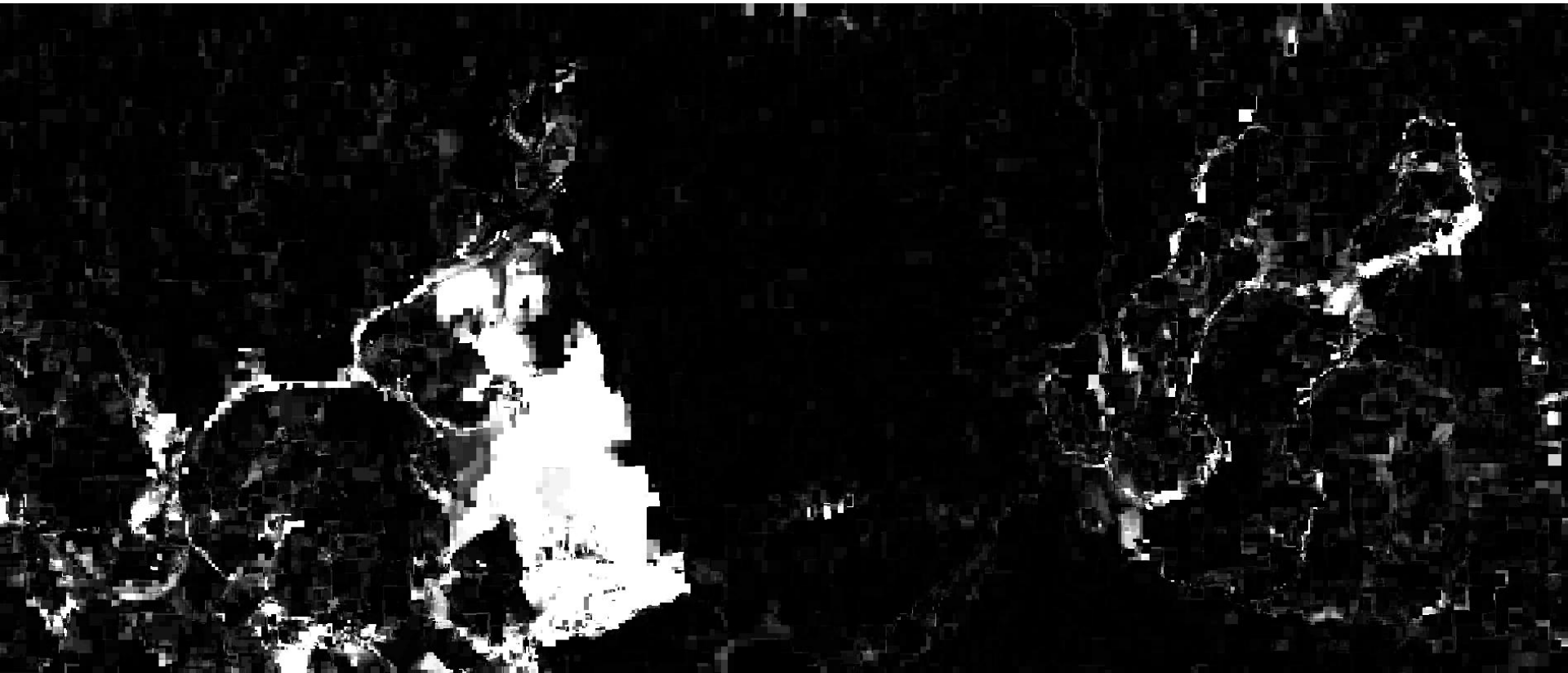
Исходный кадр

Что есть сейчас ME и фильтрация поля векторов



Карта векторов ME

Что есть сейчас МЕ и фильтрация поля векторов



Карта LRC



Содержание

- Введение
- **3-D Recursive Search Block Matching**
- Multi-Pass TME with Vector Propagation
- Latest TME Algorithm
- Заключение

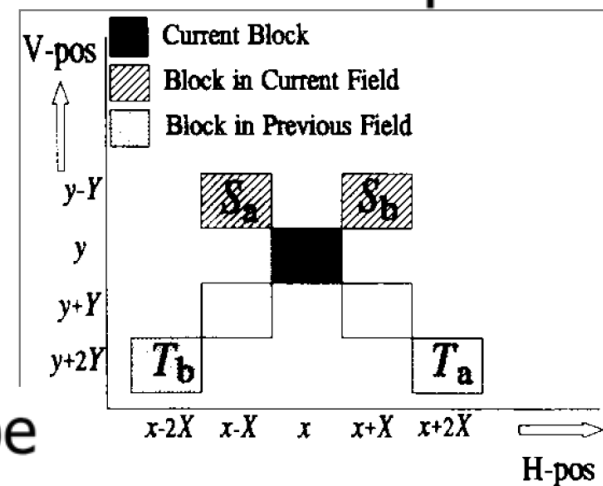
Исходный 3-D RS

Набор векторов-кандидатов



3-D RS (3D recursive search) основан на выборе вектора из набора кандидатов:

- найденные векторы движения со смещениями:
 - $(-1, -1)$, $(1, -1)$ в текущем кадре
 - $(-2, 2)$, $(2, 2)$ в предыдущем кадре
- равномерно распределенный случайный вектор с амплитудой до ± 3 пикселей



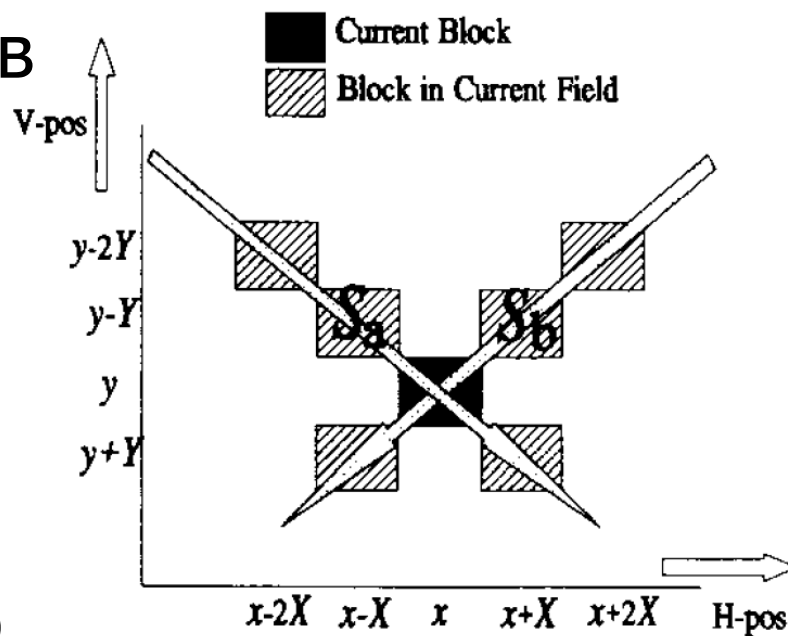
Для выбора вектора используется метрика SAD

Исходный 3-D RS

Сходимость метода

Из полученных кандидатов выбирается вектор с наименьшей SAD.

Использование векторов-кандидатов с различных направлений позволяет 3-D RS достаточно быстро сходиться к реальному направлению движения вблизи границ объектов

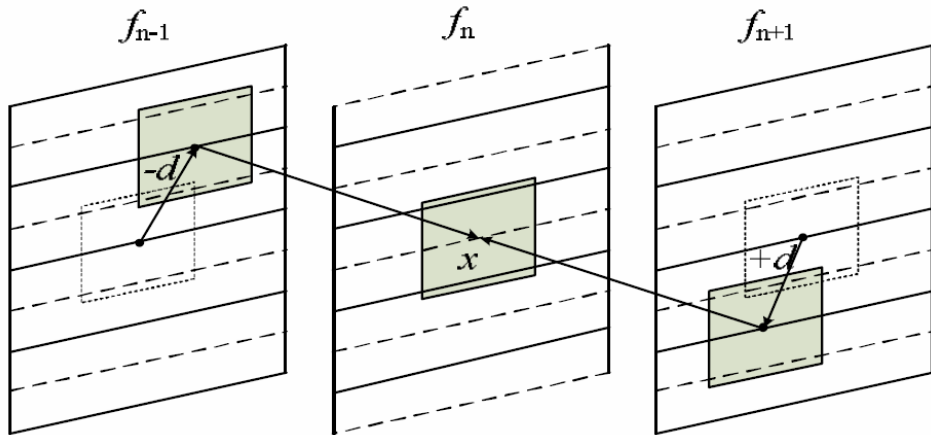


$$\underline{S}_a(\underline{X}, t) = \underline{D}_a\left(\underline{X} - \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}, t\right),$$
$$\underline{S}_b(\underline{X}, t) = \underline{D}_b\left(\underline{X} - \begin{pmatrix} -X \\ Y \end{pmatrix}, t\right).$$

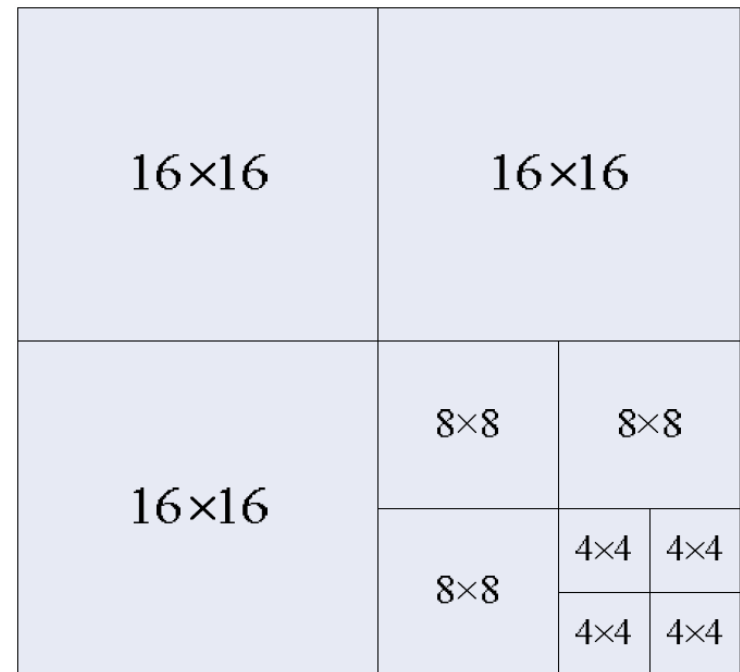
Improved 3-D RS

Предложенные улучшения

Двунаправленность



Подразбиение блоков



Improved 3-D RS

Результаты (1)



Значения PSNR для восстановленных (deinterlacing) кадров для исходного 3-D RS, двунаправленного (Bi3-D RS) и двунаправленного с подразбиением блоков (Improved 3-D RS):

		$C_1=0.3125$			$C_1=0.2$
		3DRS	Bi3DRS	Improved 3DRS	Improved 3DRS
352 × 288	mobile	27.34	27.56	27.80	27.93
	paris	31.91	35.82	35.89	36.33
	bus	30.31	30.38	30.55	30.60
	foreman	32.50	35.77	35.97	35.95
	news	42.02	42.20	42.35	42.73
	template	32.30	32.71	32.81	33.07
	football	34.06	33.44	33.73	33.11
1280 × 720	night	35.15	36.10	36.29	36.48
	crew	39.21	40.10	40.20	39.46

Improved 3-D RS

Результаты (2)



3-D RS

Improved 3-D RS

Результаты (2)



Improved 3-D RS

Improved 3-D RS

Результаты (3)



3-D RS

Improved 3-D RS

Результаты (3)



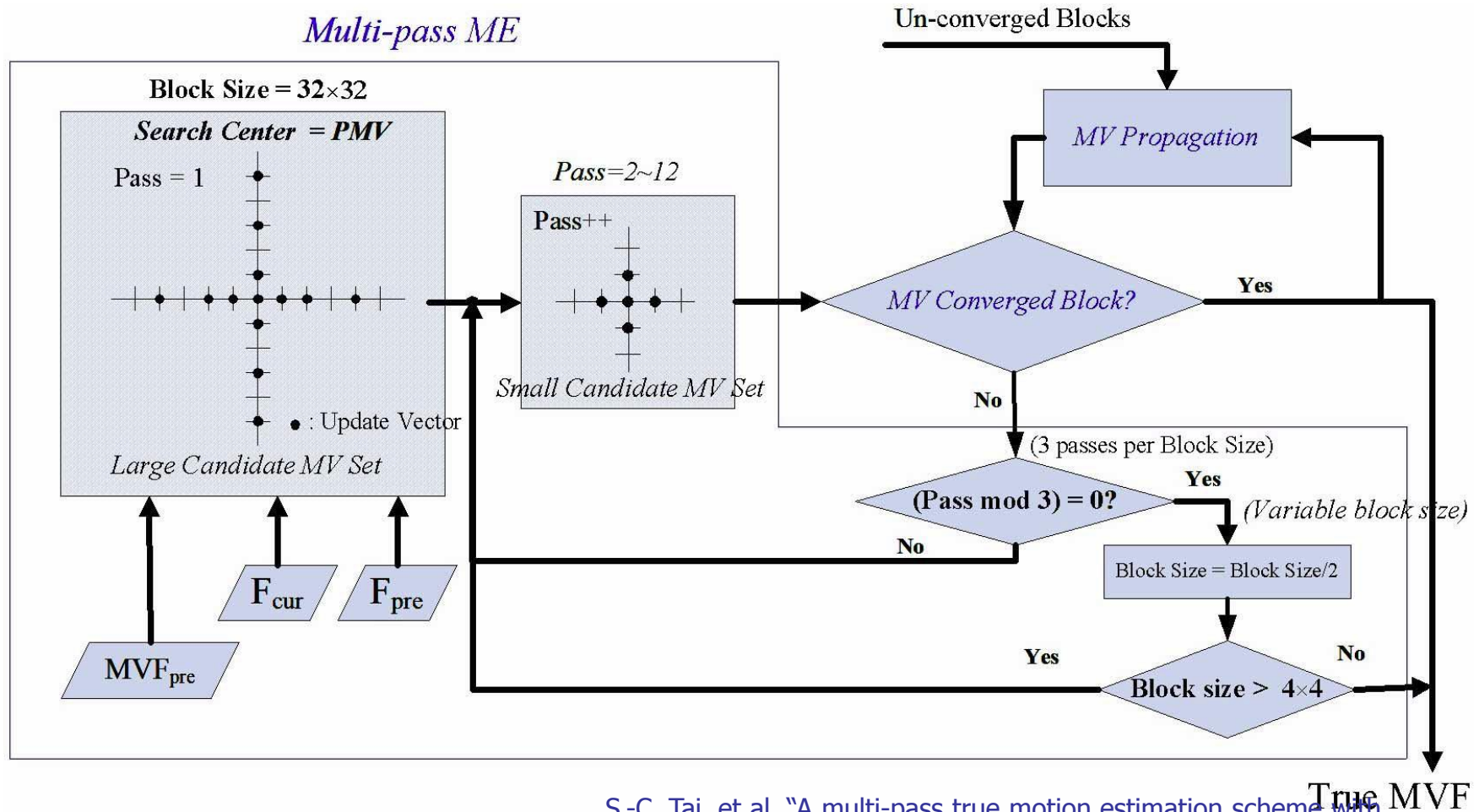
Improved 3-D RS



Содержание

- Введение
- 3-D Recursive Search Block Matching
- **Multi-Pass TME with Vector Propagation**
- Latest TME Algorithm
- Заключение

Multi-Pass TME with Vector Propagation



S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

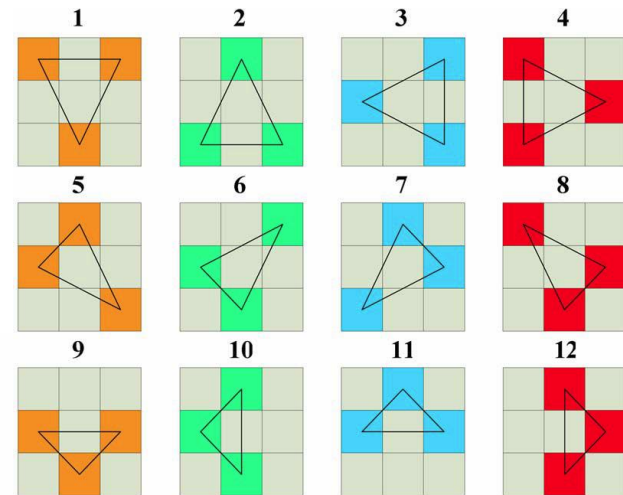
Набор векторов-кандидатов

- Predicted Motion Vector (PMV)
- Update Vector Set:

$$US^i = \begin{cases} US_{\text{large}}, & i = 1 \\ US_{\text{small}}, & 2 \leq i \leq 12 \end{cases}$$

$$US_{\text{small}} = \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \pm 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ \pm 1 \end{pmatrix} \right\}$$

$$US_{\text{large}} = US_{\text{small}} \cup \left\{ \begin{pmatrix} \pm 2 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ \pm 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \pm 4 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ \pm 5 \end{pmatrix} \right\}$$



Набор шаблонов для PMV

Набор векторов-кандидатов:

$$CS^i(\vec{X}, t) = \left\{ \vec{V} \mid \vec{V} = \overline{\text{PMV}}^i(\vec{X}) + \vec{U}, \vec{U} \in US^i \right\}$$

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Выбор вектора

$$\overrightarrow{MV}^i(\overrightarrow{X}, t) = \arg \min_{\overrightarrow{V} \in CS^i(\overrightarrow{X}, t)} (e(\overrightarrow{V}, \overrightarrow{X}, t)),$$

$1 \leq i \leq 12$ — номер прохода

MV — результирующий вектор

\overrightarrow{X} — блок

t — номер кадра

$$e(\overrightarrow{V}, \overrightarrow{X}, t) = \sum_{i,j \in \text{block}} \text{weightAD}(\overrightarrow{V}, \overrightarrow{X}_{ij}, t) / \text{blocksize}$$

$$\text{AD}(\overrightarrow{V}, \overrightarrow{X}_{ij}, t) = \text{abs}(I(\overrightarrow{X}_{ij}, t) - I(\overrightarrow{X}_{ij} + \overrightarrow{V}, t - T))$$

$$\text{weight} = \begin{cases} 0, & \text{AD}(\overrightarrow{V}, \overrightarrow{X}_{ij}, t) < 5 \\ 1, & 5 \leq \text{AD}(\overrightarrow{V}, \overrightarrow{X}_{ij}, t) < 30 \\ 2, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$I(\overrightarrow{X}_{ij}, t)$ — значение Y-компоненты цвета в точке (i, j) кадра

Пример использования метрики искажения (1)

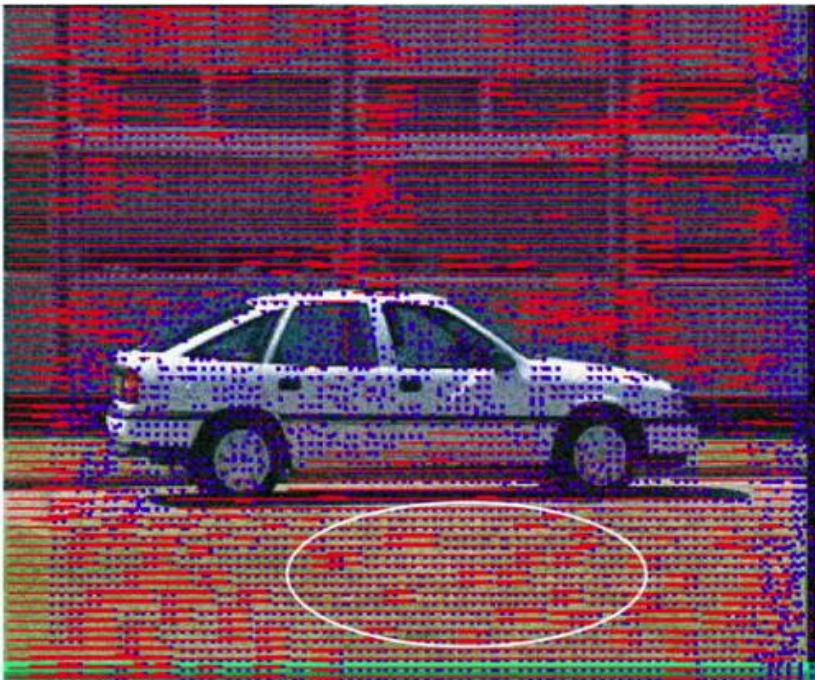
Результирующее поле векторов для разных методов:



Использование метрики SAD (3-D RS)

Пример использования метрики искажения (2)

Результирующее поле векторов для разных методов:



Применение предложенной метрики искажения

Сходимость алгоритма

Вектор для данного блока считается «ИСТИННЫМ», когда

- $e(\vec{C}, \vec{X}, t) < T_1$ $T_1 = 5 + i/3$, i — номер прохода

- $\Delta MV(\vec{C}, \vec{N}) < T_2$ $T_2 = \begin{cases} 0, & block_{size} > 88 \\ 1, & block_{size} < 8 \times 8 \end{cases}$

$$\Delta MV(\vec{C}, \vec{N})$$

$$= \text{abs}(MV(\vec{C}, t).x - MV(\vec{N}, t).x)$$

$$+ \text{abs}(MV(\vec{C}, t).y - MV(\vec{N}, t).y)$$

Распространение векторов

Полученные «истинные» вектора предлагаются соседям в качестве кандидатов для большей гладкости векторного поля



Без распространения

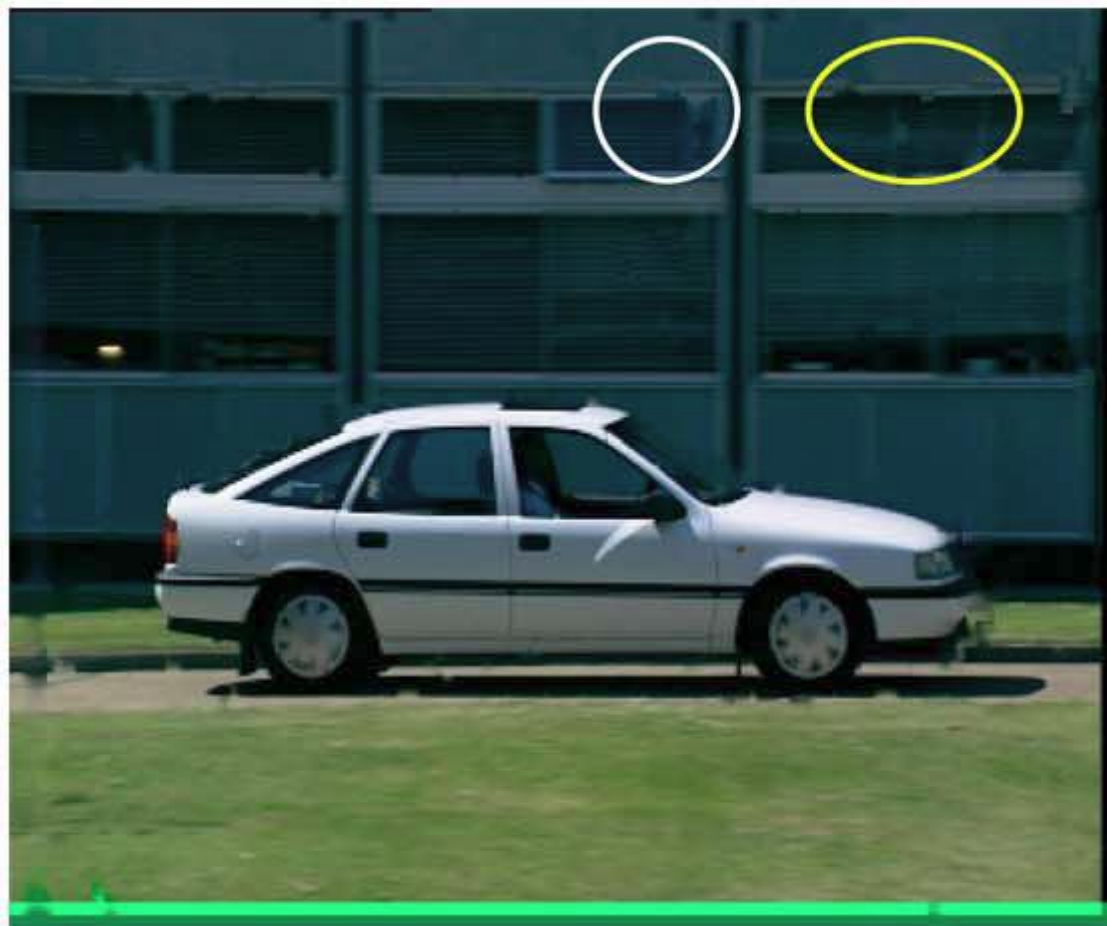


С распространением

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (1)

Vectra

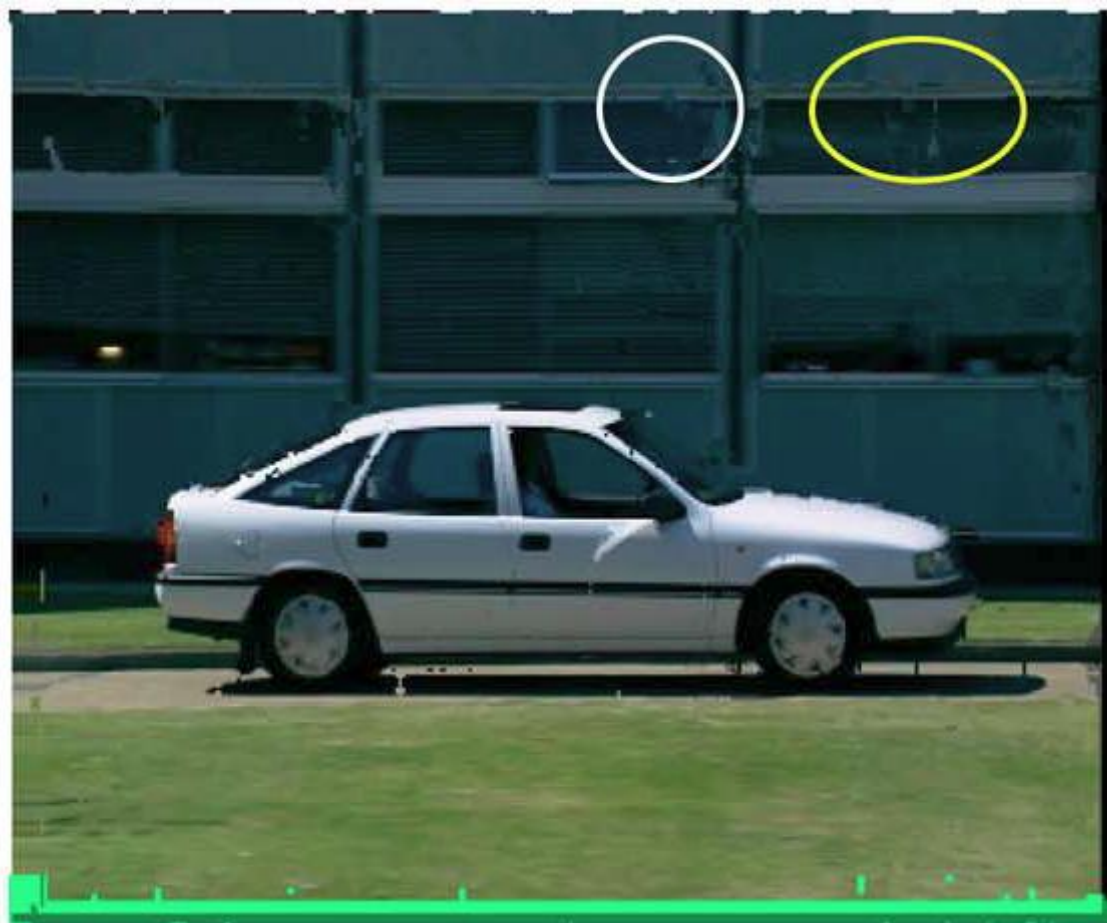


3-D RS

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (1)

Vectra

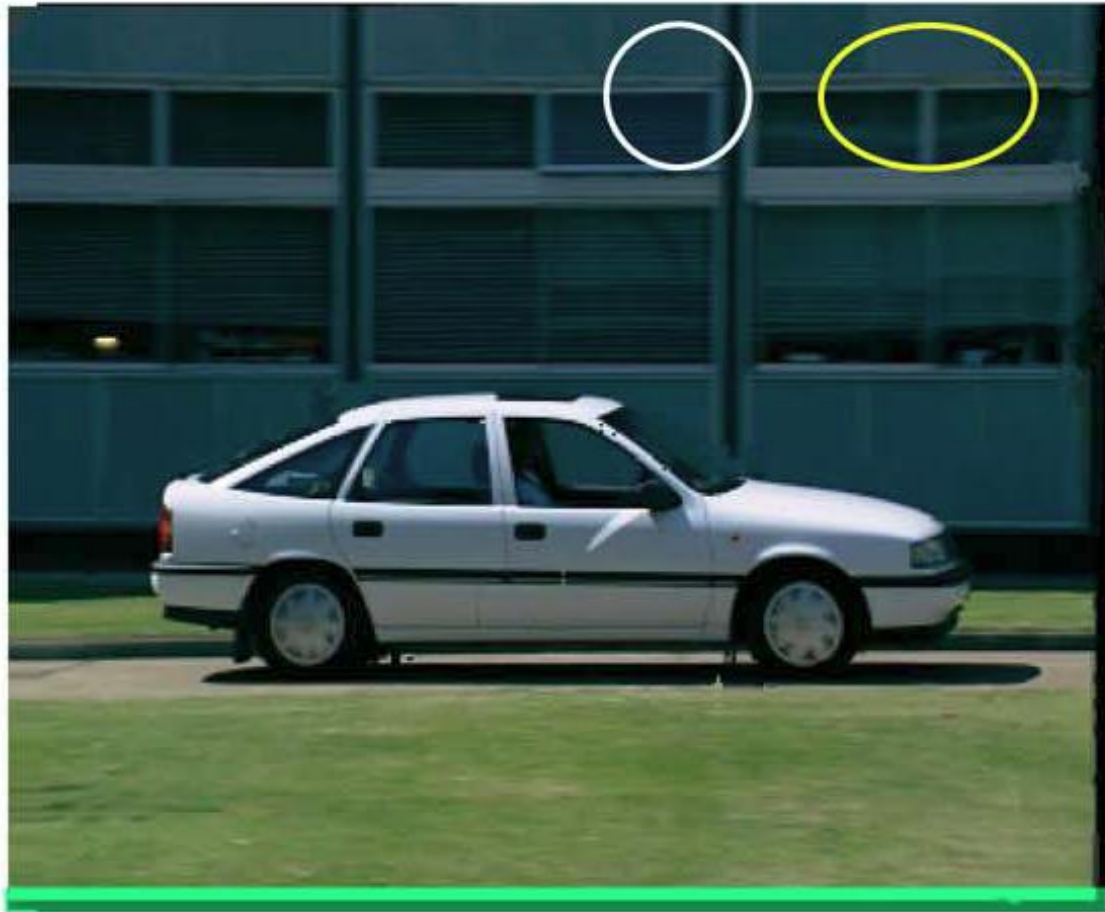


TCSBP

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (1)

Vectra

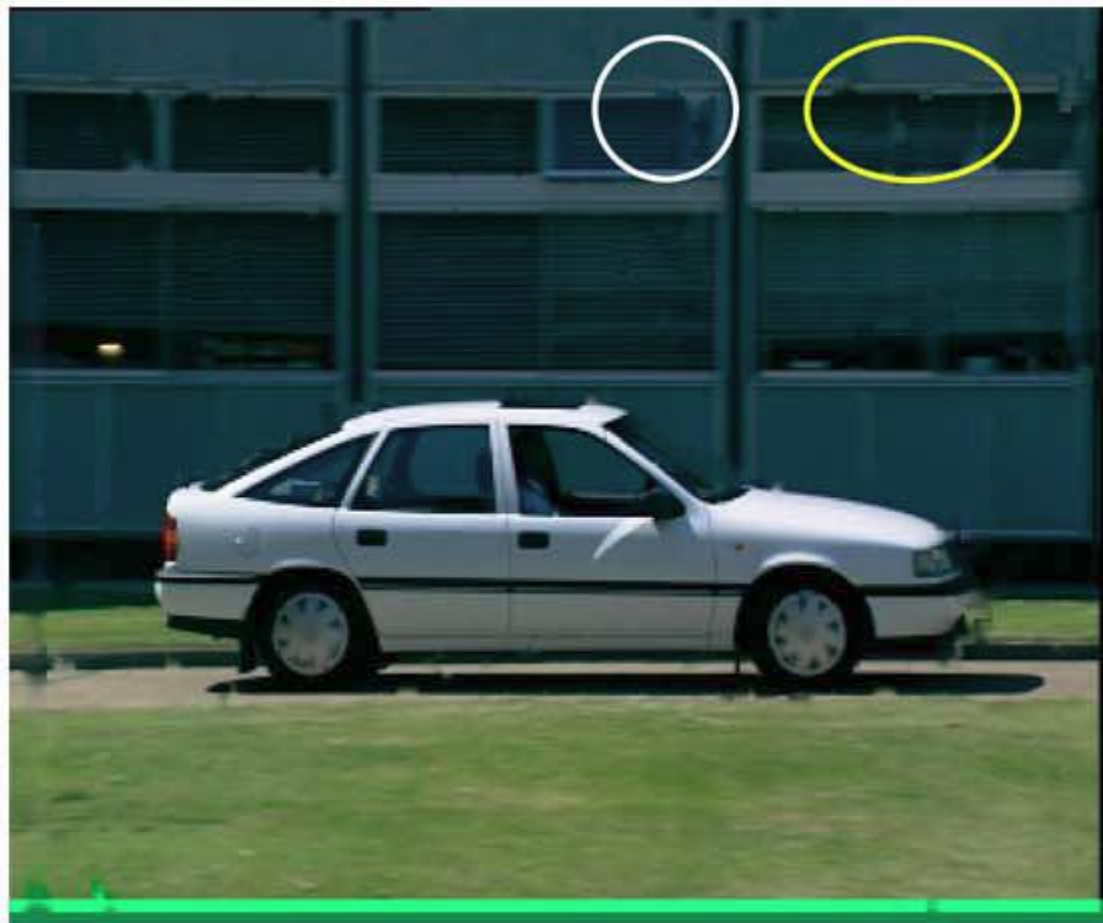


Proposed

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (1)

Vectra

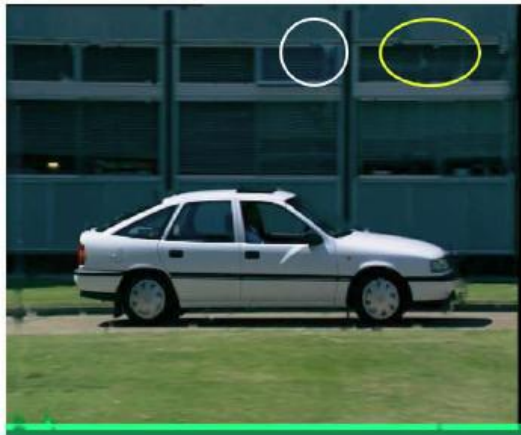


3-D RS

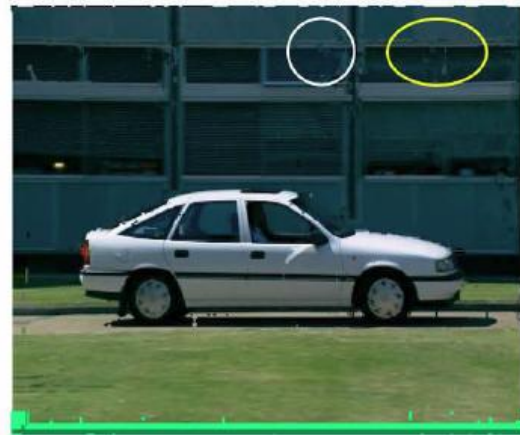
S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (1)

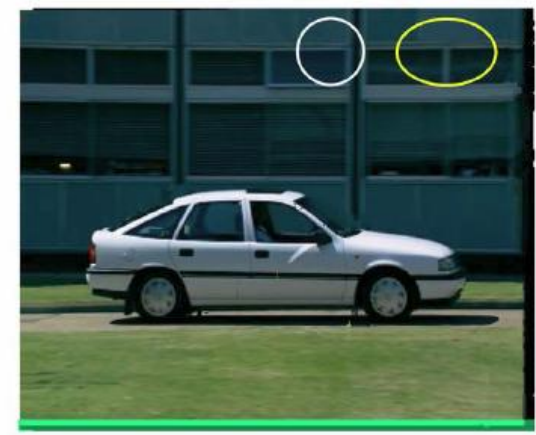
Vectra: сравнение MVF



(a)



(b)



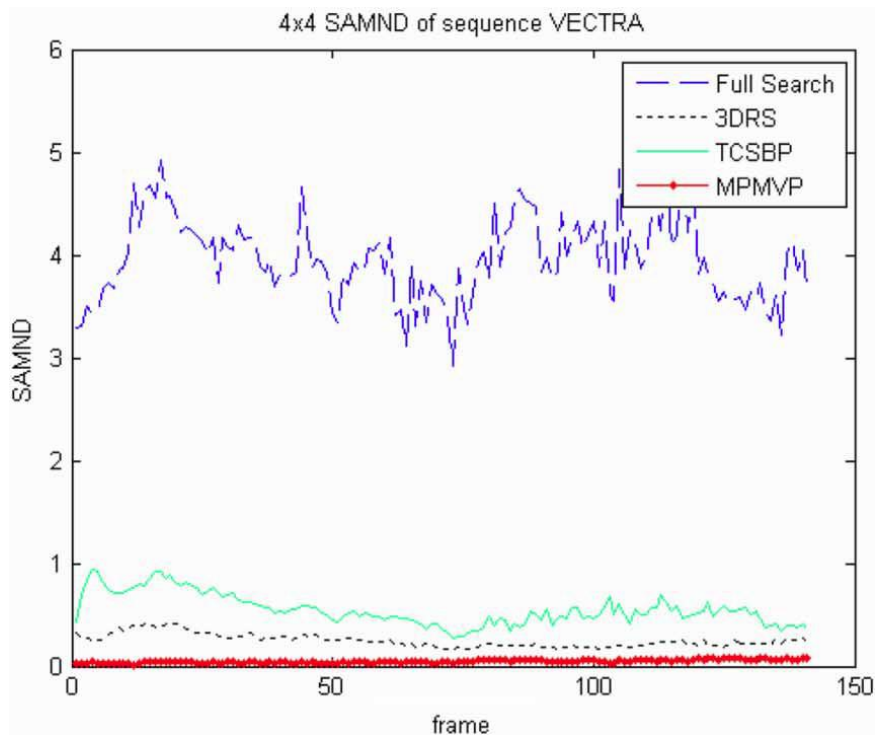
(c)



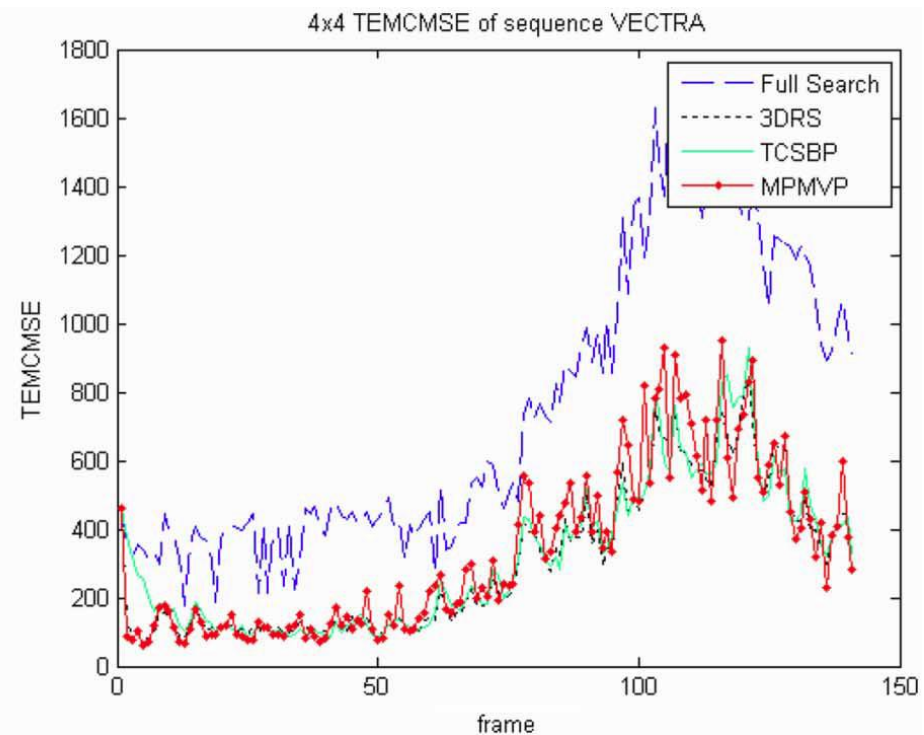
S. C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (1)

Объективное сравнение



(a)



(b)

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (2)

Bus

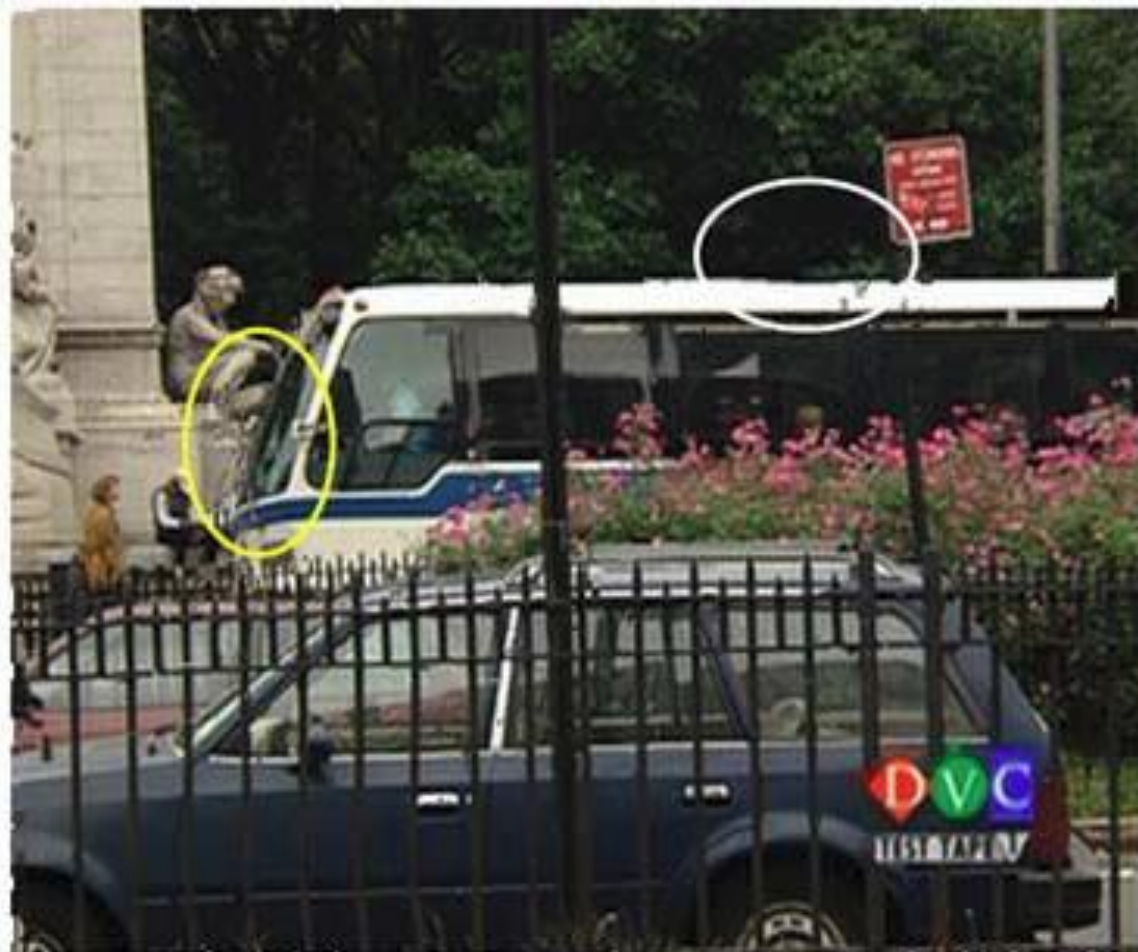


3-D RS

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (2)

Bus

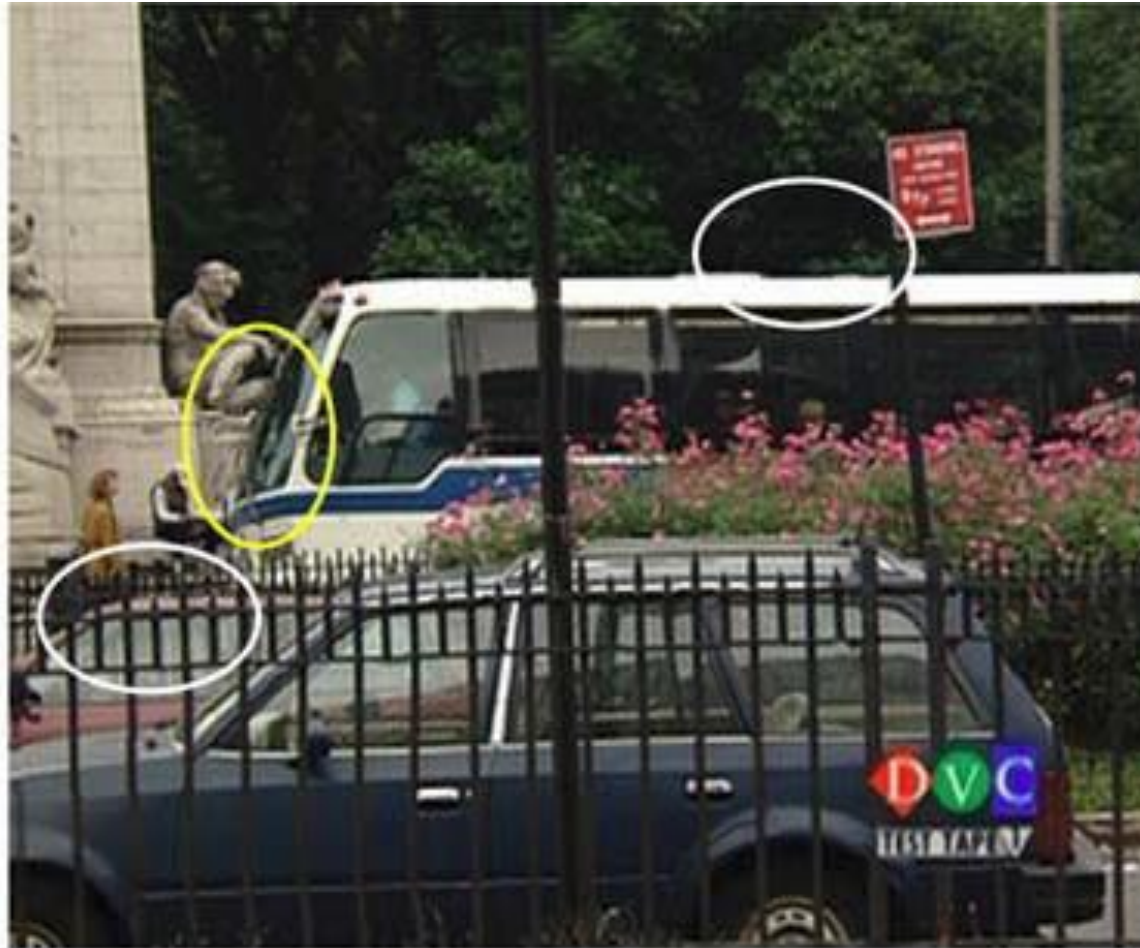


TCSBP

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (2)

Bus



Proposed

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Результаты FRUC (2)

Bus



3-D RS

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008

Скорость работы

TABLE I
MOTION ESTIMATION TIMES SPENT IN 3DRS, TCSBP AND PROPOSED
MPMVP ALGORITHM

Sequence \ Time (sec/frame)	3DRS	TCSBP	MPMVP
BUS (CIF)	0.317	0.037	0.145
FOREMAN (CIF)	0.315	0.036	0.074
VECTRA (CIF)	0.305	0.038	0.116
FOOTBALL (D1)	2.186	0.264	1.143

S.-C. Tai, et al, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008



Выводы

- Достоинства
 - Высокая скорость работы
 - Высокое качество результатов в статье
- Недостаток
 - Наличие в алгоритме неочевидных эвристических порогов, что может ограничить класс входных данных



Содержание

- Введение
- 3-D Recursive Search Block Matching
- Multi-Pass TME with Vector Propagation
- **Latest TME Algorithm**
- Заключение



Алгоритм

1. Оцениваем взаимодействие соседних блоков
2. Производим кластеризацию множества векторов-кандидатов для уменьшения набора
3. Оцениваем ТМЕ по блокам 8×8 и 4×4

Обозначения в статье

Вводим апостериорную вероятность поля векторов:

$$P(\mathcal{I}_k = I_k | \mathcal{D}_k = \mathbf{d}_k; I_{k-1}) \cdot P(\mathcal{D}_k = \mathbf{d}_k; I_{k-1})$$

\mathcal{D}_k — vector random field

\mathbf{d}_k — one of its realization

\mathcal{J}_k — scalar random field

I_k — one of its realization

Вектор движения (MV) находится методом оценки апостериорного максимума:

$$\hat{\mathbf{d}}_k = \arg \max_{\mathbf{d}} \left(P(\mathcal{I}_k = I_k | \mathcal{D}_k = \mathbf{d}_k; I_{k-1}) \cdot P(\mathcal{D}_k = \mathbf{d}_k; I_{k-1}) \right)$$

Преобразование функционала



$$\hat{d}_k = \arg \min_d \left(\sum_n |I_k[n] - I_{k-1}[n + d]|^2 + \lambda \sum_{l \in \mathcal{N}_n} \|d[n] - d[l]\|^2 \right)$$

Мера качества вектора-кандидата (например, SAD)

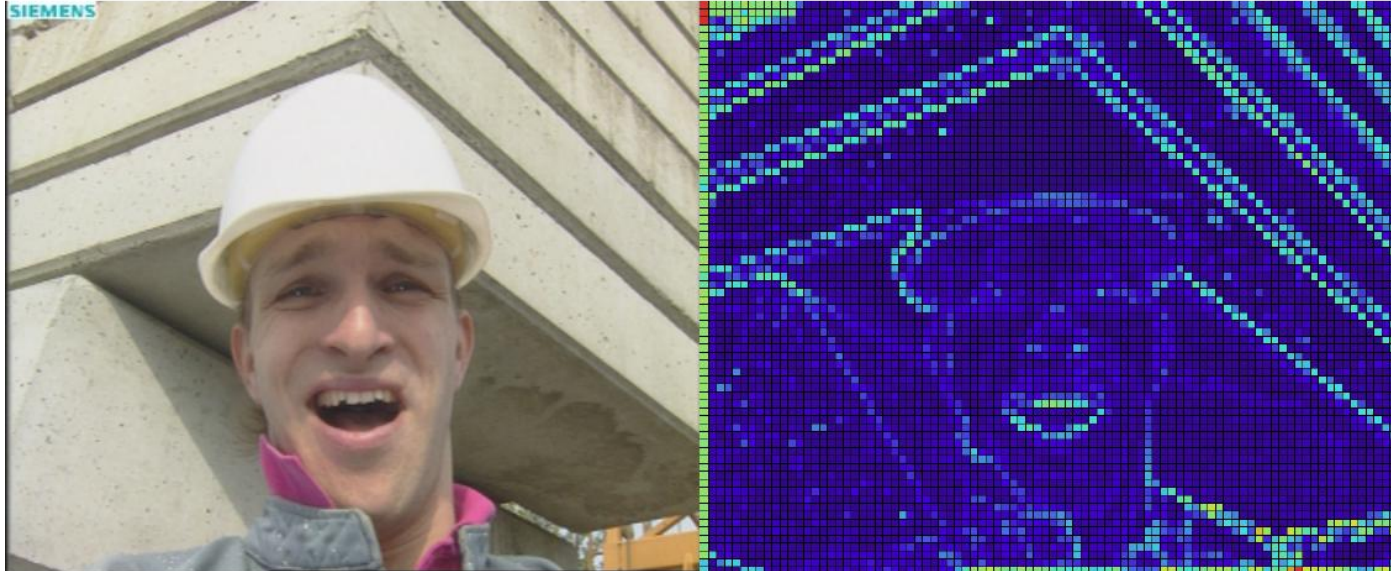
Мера различия соседних блоков

\mathcal{N}_n — набор n соседей (4 или 8)

$\|\cdot\|$ — Евклидова норма

$\lambda = 2\sigma^2$, σ^2 — дисперсия распределения

Оценка взаимодействия соседних блоков



Исходный кадр

Карта границ

$$w(\mathbf{n}, \mathbf{l}) = e^{-\frac{(g(\mathbf{n}) - g(\mathbf{l}))^2}{2\kappa_1^2}}$$

Мера взаимодействия блоков \mathbf{n} и \mathbf{l}

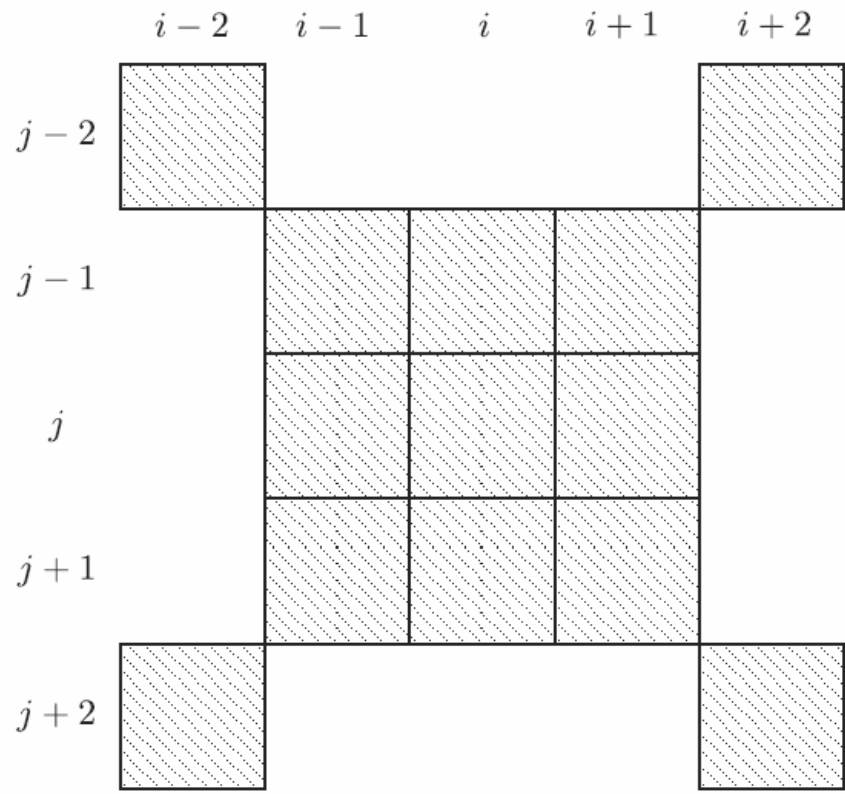
$$\min \left(1, e^{-\frac{E_D(\mathbf{l}) - Th}{2\kappa_2^2}} \right)$$

BDM (оценка искажения блока)

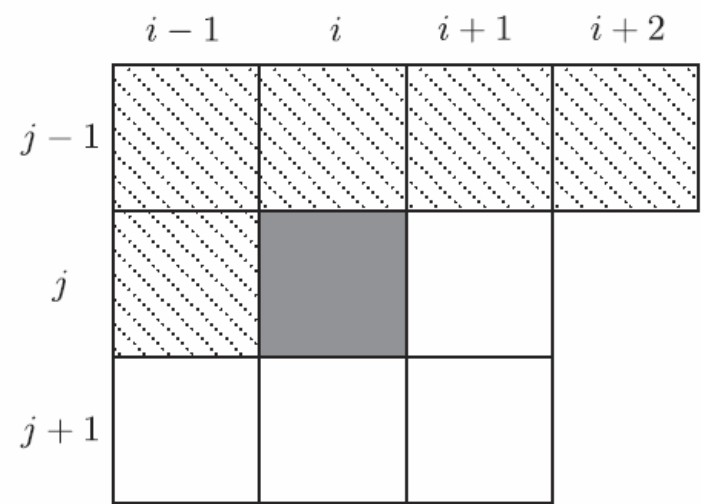
Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Набор векторов-кандидатов

Блоки 8×8



Previous frame

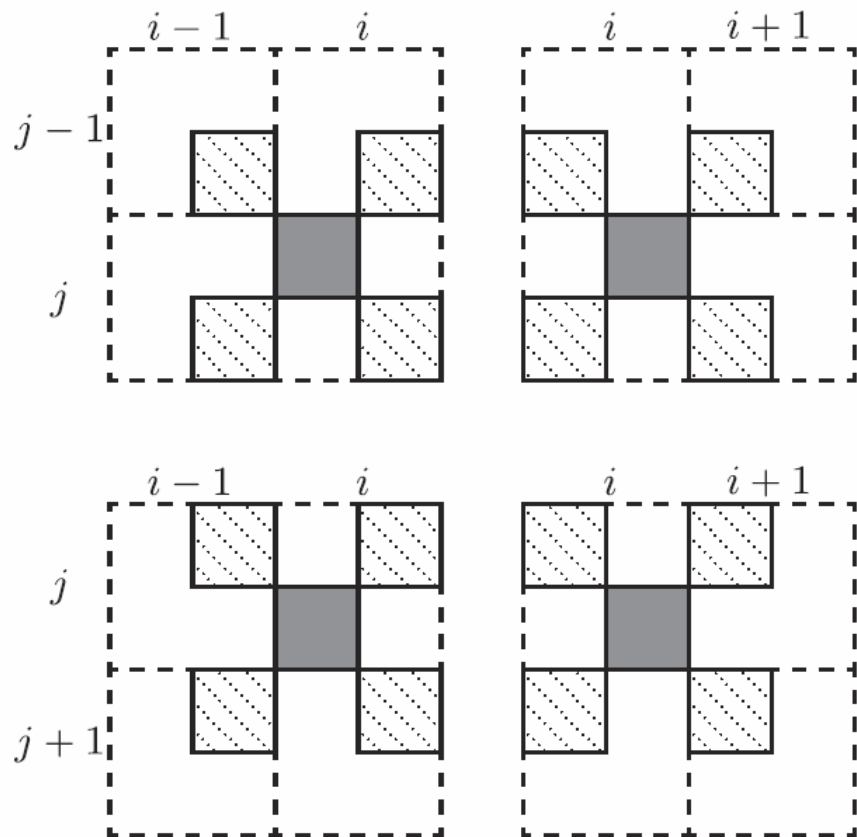


Current frame

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Набор векторов-кандидатов

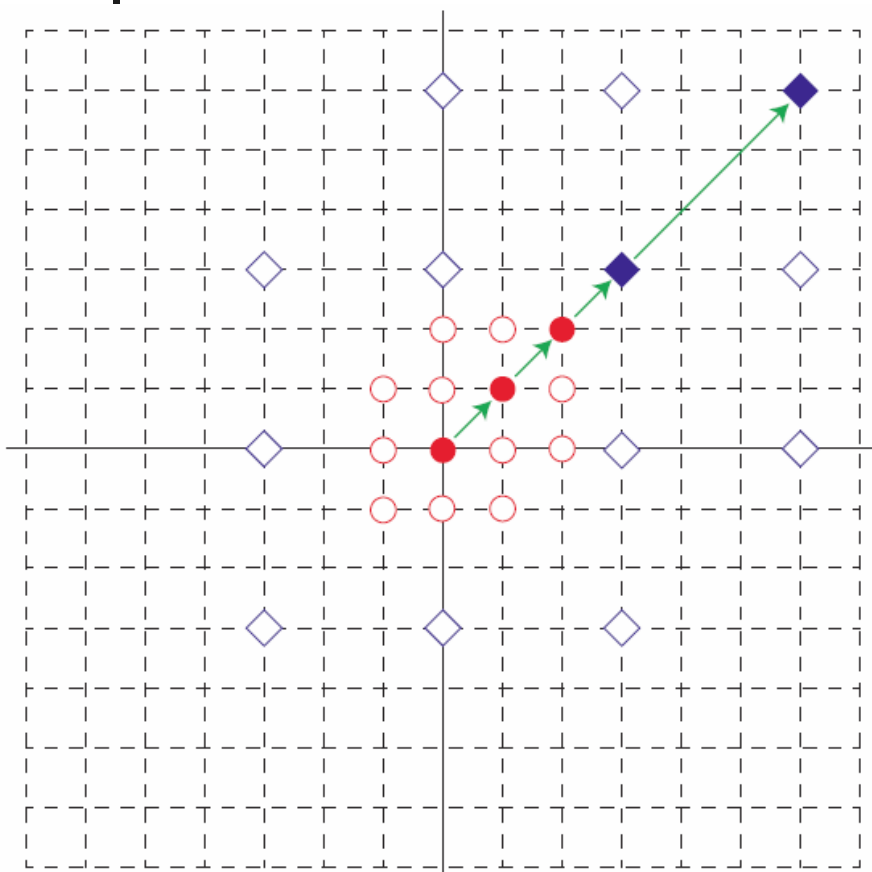
Блоки 4x4



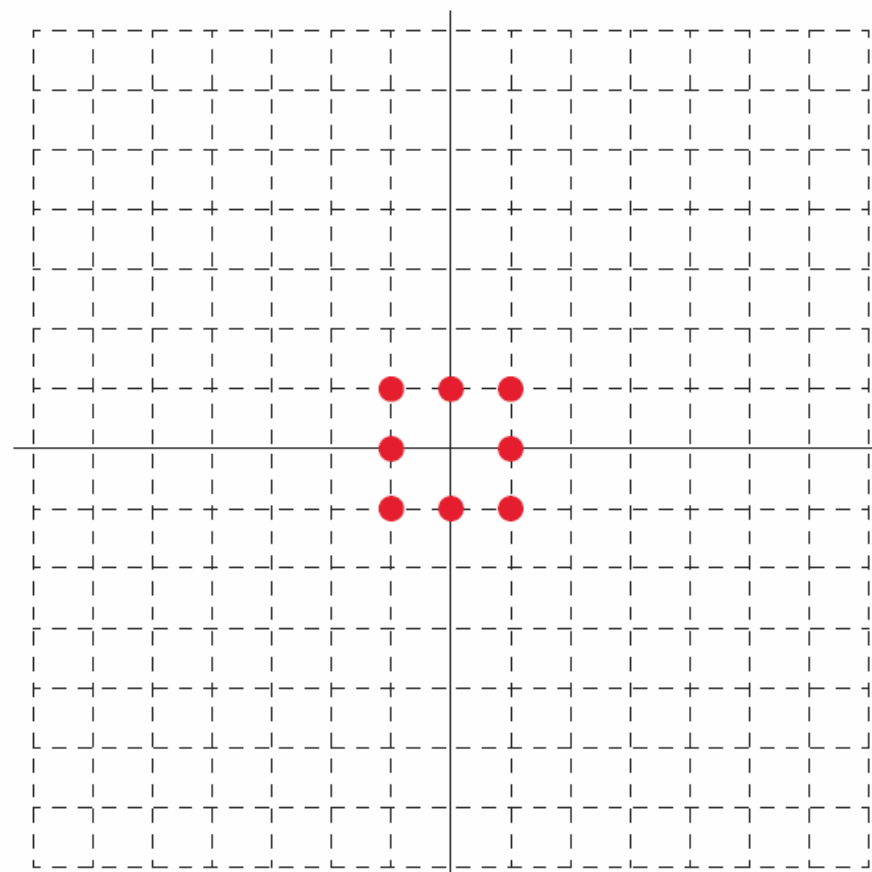
Current frame

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Процесс поиска векторов



Блоки 8x8



Блоки 4x4

Результаты FRUC (1)

TABLE I

OBJECTIVE MEASURE COMPARISON OF THE PROPOSED ALGORITHM WITH EXISTING ALGORITHMS USING CIF/720P VIDEO SEQUENCES. PSNR DENOTES THE PEAK SIGNAL-TO-NOISE RATIO AND SSIM DENOTES THE STRUCTURAL SIMILARITY INDEX.

			Ref [19]		Ref [64]		Ref [65]		Ref [55]		Apple FCS [67]		Proposed	
			PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
News	CIF	(90)	32.884	0.965	32.969	0.966	34.671	0.974	34.946	0.975	36.873	0.979	38.214	0.984
Stefan	CIF	(90)	23.885	0.875	23.770	0.870	23.048	0.825	24.324	0.888	27.869	0.913	29.157	0.942
Foreman	CIF	(300)	27.243	0.832	28.171	0.846	28.557	0.846	29.191	0.865	32.584	0.914	33.252	0.940
Mother_daughter	CIF	(300)	37.405	0.949	36.607	0.944	38.105	0.953	38.726	0.958	42.245	0.976	42.708	0.980
Mobile	CIF	(300)	21.401	0.842	22.541	0.872	22.549	0.873	23.113	0.890	28.608	0.951	28.994	0.957
Highway	CIF	(300)	28.973	0.784	30.645	0.791	29.966	0.795	31.245	0.805	32.998	0.919	33.450	0.922
Crew	720p	(300)	26.734	0.771	27.115	0.764	26.937	0.768	28.339	0.816	34.141	0.969	34.662	0.962
Average			28.361	0.860	28.831	0.865	29.119	0.862	29.983	0.885	33.617	0.946	34.348	0.955

Результаты FRUC (2)

TABLE II

OBJECTIVE MEASURE COMPARISON OF THE PROPOSED ALGORITHM WITH EXISTING ALGORITHMS USING CIF VIDEO SEQUENCES. PSNR DENOTES THE PEAK SIGNAL-TO-NOISE RATIO AND SSIM DENOTES THE STRUCTURAL SIMILARITY INDEX.

		Ref [66]		Ref [19]		Ref [38]		Apple FCS [67]		Proposed	
		PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
Football (b)	(260)	19.71	—	19.69	—	22.74	—	23.033	0.654	24.140	0.746
Tt	(300)	25.69	—	25.38	—	29.58	—	31.798	0.917	34.920	0.956
Garden	(374)	22.14	—	22.56	—	26.96	—	33.061	0.974	34.368	0.976
Mobile	(300)	21.59	—	19.57	—	25.09	—	28.608	0.951	28.994	0.957
Paris	(1065)	27.80	—	28.05	—	33.53	—	33.819	0.975	36.341	0.984
Container	(300)	35.32	—	38.65	—	41.87	—	39.518	0.980	42.995	0.988
Average		25.38	—	25.65	—	29.96	—	31.640	0.909	33.626	0.935

Результаты FRUC (3)

Foreman



Ground truth

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Результаты FRUC (3)

Foreman



Apple FCS

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Результаты FRUC (3)

Foreman



Proposed

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Результаты FRUC (3)

Foreman



Ground truth

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Результаты FRUC (3)

Football



Ground truth

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Результаты FRUC (4)

Football



Apple FCS

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Результаты FRUC (4) Football



Proposed

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

Результаты FRUC (4)

Football



Ground truth

Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

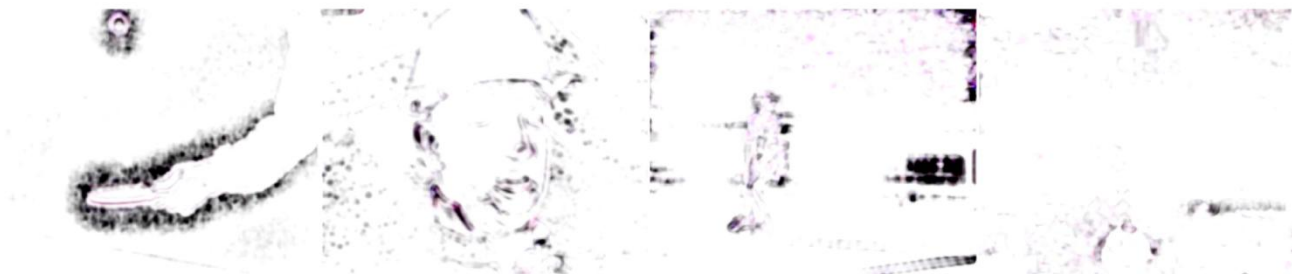
Результаты FRUC (5)

Сравнение карт SSIM

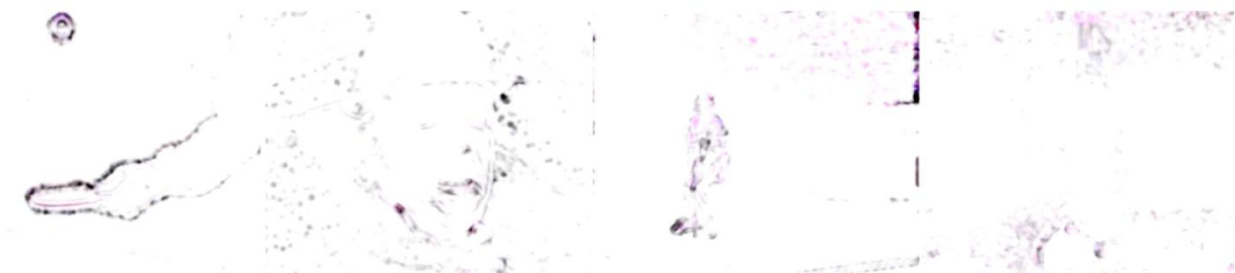
Source



SSIM map
of FCS output



SSIM map
of the
proposed
method



Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012

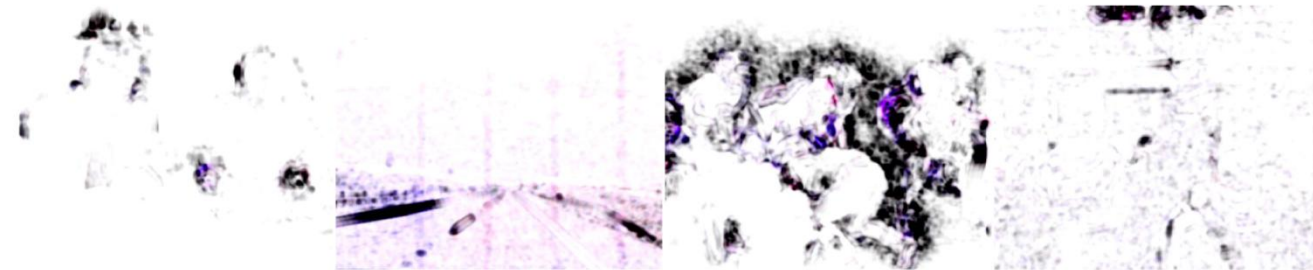
Результаты FRUC (5)

Сравнение карт SSIM

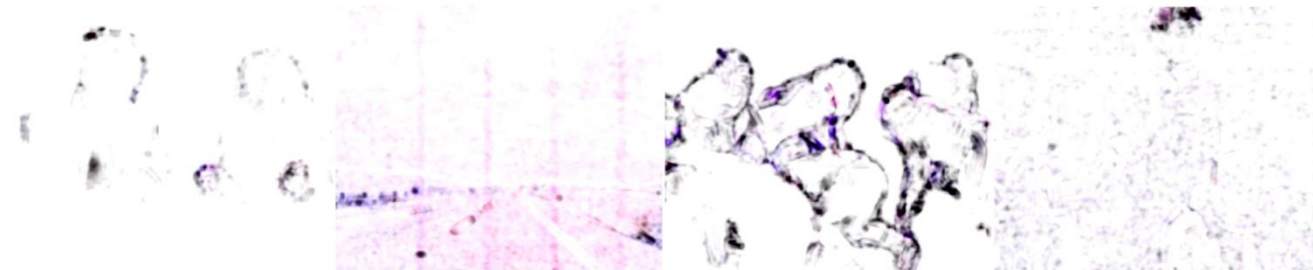
Source



SSIM map
of FCS output



SSIM map
of the
proposed
method



Dikbas. S., Altunbasak. Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE*, 2012



Выводы

- Достоинства
 - Высокое качество результатов в статье
 - Интересные идеи оценки весов для векторов-кандидатов



Содержание

- Введение
- 3-D Recursive Search Block Matching
- Multi-Pass TME with Vector Propagation
- Latest TME Algorithm
- **Заключение**



Заключение

Идеи Антона Зачесова:

- надо выбирать вектор в зависимости от того, что на исходнике в этом месте (цвет ровный, граница, текстура)
- нужна иерархичность
- нужен учёт LRC при поиске векторов (в дополнение к SAD)

Литература

1. G. de Haan, P. W. A. C. Biezen, H. Huijgen, and O. A. Ojo, "Truemotion estimation with 3-D recursive search block matching," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 368–379, Oct. 1993.
2. S.-C. Tai, Y.-R. Chen, Z.-B. Huang, and C.-C. Wang, "A multi-pass true motion estimation scheme with motion vector propagation for frame rate up-conversion applications," *IEEE/OSA J. Display Technol.*, Jul. 2008, vol. 4, no. 2, pp. 188–197.
3. Dikbas, S., Altunbasak, Y., "A Novel True-Motion Estimation Algorithm and Its Application to Motion-Compensated Temporal Frame Interpolation," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. PP, no. 99, pp. 1
4. Гришин С., Ватолин Д., Лукин А., Путилин С., Стрельников К., "Обзор блочных методов оценки движения в цифровых видео сигналах", Тематический сборник "Программные системы и инструменты", 2008, vol. 9, pp. 50–62



Литература

5. S. Li , J. Du , D. Zhao , Q. Huang and W. Gao "An improved 3-DRS algorithm for video de-interlacing", *Proc. Picture Coding Symp.*, 2006