

# Быстрое и надежное определение глобального движения в видеопоследовательностях

Солдатов С.А., Стрельников К.Н., Ватолин Д.С.

МГУ им. Ломоносова, факультет Вычислительной Математики и Кибернетики,  
лаборатория Компьютерной Графики, Москва, Россия

{stass, kstrelnikov, dmitriy}@graphics.cs.msu.ru

## Аннотация

Для многих задач обработки и сжатия видео требуется информация о глобальном движении кадра. Часто в реальных задачах уже имеется информация о движении фрагментов кадра, как правило, в виде векторов движения для блоков (в особенности это справедливо для задач сжатия видео). Поэтому авторы предлагают алгоритмы определения глобального движения, использующие вектора движения для блоков. Алгоритмы аппроксимируют разные модели движения и могут быть полезны при решении многих задач. Поскольку вектора движения, полученные при помощи алгоритмов сопоставления блоков (block-matching), ненадежны, особое внимание уделяется их фильтрации. В частности, предлагается алгоритм оценки надежности найденных векторов движения, на основе которого выполняется первичная фильтрация поля векторов. В процессе выполнения алгоритмов выполняется последовательная фильтрация поля векторов. Предложенные алгоритмы позволяют быстро и с высокой точностью оценивать параметры глобального движения.

**Ключевые слова:** определение глобального движения, оценка надежности векторов движения, фильтрация поля векторов.

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Определение глобального движения между кадрами (Global Motion Estimation) используется во многих современных приложениях и активно исследуется долгое время. Существующие алгоритмы определения глобального движения используются в задачах сжатия [1], сегментации, стабилизации видео и построения панорамного изображения.

Определение глобального движения между кадрами заключается в аппроксимации преобразования переводящего один кадр в другой. Модель движения определяет класс преобразований, среди которых ведется поиск. Сложность модели зависит от области применения алгоритма. Чаще всего используются двух-, четырех-, шести- и восьмипараметровые модели.

После выбора модели движения задача определения глобального движения между кадрами сводится к поиску оптимальных по некоторой метрике значений параметров модели движения. Существуют три основных подхода к определению параметров глобального движения с характерными достоинствами и недостатками.

- 1) Подход с использованием аппарата особых точек.
- 2) Подход с использованием векторов движения блоков.
- 3) Глобальный поиск.

Недостаток алгоритмов, использующих особые точки, – низкая производительность, что обусловлено высокой вычислительной сложностью операций по поиску (Feature Selection) и сопровождению (Feature Tracking) особых точек [2]. Преимущество таких алгоритмов заключается в высокой надежности определения локального движения. Надежность определения локального движения при поиске векторов движения с помощью сопоставления блоков (block-matching motion estimation) гораздо ниже. Но, не смотря на это, данный подход очень широко распространен благодаря простоте и высокой производительности. Алгоритмы глобального поиска определяют оптимальное преобразование без использования информации о локальном движении [4]. Вычислительная сложность этих алгоритмов чрезвычайно высока, что практически исключает возможность их применения для решения реальных задач.

Остановимся подробнее на наиболее используемых моделях движения. Самая простая – двухпараметровая модель движения. Эта модель описывает только вертикальный и горизонтальный сдвиги. Обычно двухпараметровая модель используется в быстрых алгоритмах стабилизации видео. Алгоритм определения значений параметров этой модели можно найти в статье [5]. Четырехпараметровая модель движения описывает вертикальный и горизонтальный сдвиги, поворот и увеличение. Модель может применяться в задачах стабилизации видео [6] и построения панорамного изображения. Иногда поворот не описывается [7]. Шестипараметровая модель представляет собой аффинное преобразование и, обычно, применяется в кодировании [7] и стабилизации [4] видео. Восьмипараметровая модель – самая точная из рассмотренных. Она описывает перспективное преобразование и используется при построении панорамных изображений.

В данной статье предлагаются два быстрых алгоритма высокоточной оценки глобального движения между кадрами, основывающихся на алгоритме определения движения для блоков. Один алгоритм использует четырехпараметровую, а другой шестипараметровую модель движения. Алгоритмы используют преимущество в скорости обычного определения движения и минимизируют погрешность, возникающую из-за низкой надежности векторов движения. В частности, предлагается способ оценки надежности векторов движения.

## 2 ФИЛЬТРАЦИЯ ОШИБОЧНЫХ ВЕКТОРОВ

### 2.1 Причины неправильного нахождения векторов движения

Определение движения – важная задача в области кодирования и обработки видео. Существует несколько подходов к определению движения: пиксельный (pixel-based),

блочный (block-based), с использованием особых точек (feature-based) и объектный (object-based). Блочный подход наиболее распространен благодаря простоте. Существуют быстрые алгоритмы блочного определения движения. Поэтому предлагаемые алгоритмы определения глобального движения основываются на блочном определении движения.

Поиск векторов полным перебором дает наилучший результат в смысле минимизации межкадровой разницы, но имеет высокую вычислительную сложность, и поэтому редко применяется. Цель предлагаемых алгоритмов – обеспечение высокой точности при низкой вычислительной сложности. Поэтому авторы выбрали для своих целей быстрый алгоритм определения движения - 3D Recursive Search (3DRS) [9] с некоторыми доработками. Даже полный перебор не всегда правильно определяет вектора движения, тем более это справедливо для быстрых алгоритмов.

Поле векторов, найденное блочным алгоритмом определения движения, имеет некоторые характерные свойства. А именно, вектор движения, с большой вероятностью, найден неверно, если:

- 1) ошибка определения вектора движения велика (поскольку это означает, что сопоставленные блоки мало похожи);
- 2) вектор движения значительно отличается от соседних векторов (следует из гладкости поля векторов движения);
- 3) дисперсия блока мала (как правило, в этом случае блок мало отличается от соседних блоков).

На рисунке 1 приведен пример неправильного определения векторов движения.

## 2.2 Фильтрация поля векторов по надежности

Предлагаемым алгоритмам определения глобального движения не требуются для работы все вектора движения, гораздо важнее соответствие векторов действительному движению в кадре. Поэтому авторы уделяют большое внимание фильтрации ошибочных векторов движения.

Для аппроксимации надежности векторов движения предлагается функция доверия (belief function), которая учитывает особенности поля векторов, изложенные в 2.1. Функция зависит от следующих характеристик:

- 1)  $error_{x,y}$  – ошибка определения вектора движения (сумма абсолютных разностей яркостей пикселей блока в позиции  $(x, y)$  из текущего кадра и сопоставленного ему блока из предыдущего кадра);
- 2)  $disp_{x,y}$  – дисперсия блока в позиции  $(x, y)$  из текущего кадра;
- 3)  $dev_{x,y}$  – среднеквадратичное отклонение вектора в позиции  $(x, y)$  от соседних векторов (1).

$$dev_{x,y} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{\substack{i=-1;1 \\ j=-1;1}} \left[ \left( mv_{x,y}^x - mv_{x+i,y+j}^x \right)^2 + \left( mv_{x,y}^y - mv_{x+i,y+j}^y \right)^2 \right] \quad (1)$$



Кадр 3 из последовательности “flower”.

Выделены вектора с низкой дисперсией и сильно отличающиеся от соседних



Кадр 9 из последовательности “foreman”.

Выделенные вектора найдены с большой ошибкой



Ошибка определения вектора.

Возрастает от черного к белому.

Рис. 1. Пример ошибочных векторов

$mv_{x,y}^x, mv_{x,y}^y$  – проекция вектора движения в позиции  $(x, y)$  на ось абсцисс и ординат соответственно.

Предлагаемая функция доверия имеет вид (2). Значения, полученные с помощью формулы (2), используются для фильтрации поля векторов. Вектора с малым значением функции доверия отбрасываются. Остальные вектора составляют множество надежных векторов.

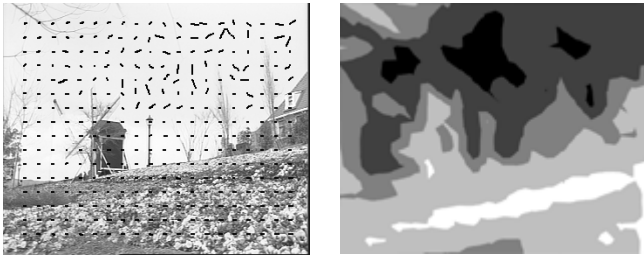
$$belief_{x,y} = \left( a \cdot error_{x,y} + \frac{b}{disp_{x,y}^2} + c \cdot dev_{x,y} \right)^{-1} \quad (2)$$

$a, b, c$  – параметры.

Экспериментально получены следующие значения параметров функции доверия:  $a=0.25$ ;  $b=32$ ;  $c=1$ .

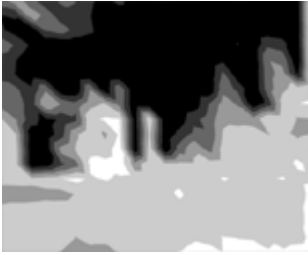
В отличие от [11] предлагаемая функция имеет гораздо меньшую вычислительную сложность. Но, поскольку, формула (2) используется не для повышения надежности всех векторов движения, а для отсеивания векторов, сильно отличающихся от реального движения в кадре, такая оценка оказывается достаточной.

Типичный результат использования функции доверия приведен на рисунке 2. На рисунке в виде цветowych карт представлены характеристики поля векторов и найденные значения функции доверия. Значения характеристик на цветowych картах возрастают от темных областей к светлым. Из рисунка видно, что, неверно найденным векторам движения, соответствуют темные области на карте функции доверия. Этот результат подтверждает, что использование функции доверия для фильтрации поля векторов оправдано.

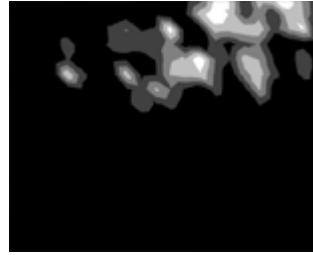


Кадр с векторами движения

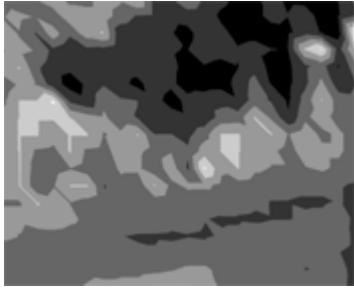
Ошибка определения векторов



Дисперсия блоков



Отклонение от соседних векторов



Значения функции доверия

Рис. 2. Аппроксимация надежности векторов движения (кадр 3 из последовательности "flower")

Предложенные алгоритмы используют только те вектора, значение функции доверия для которых больше некоторого порога.

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Имея информацию о движении фрагментов кадра в виде векторов движения, можно определить, как двигался весь кадр. Глобальное движение кадра можно аппроксимировать разными моделями. Авторы рассматривают движение между кадрами  $I'$  и  $I''$  следующего вида:

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A_{13} \\ A_{23} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$A_{ij}$  ( $i \in [1;2]$ ,  $j \in [1;3]$ ) – параметры модели (некоторые параметры могут быть заданы константой);

$(x'; y')$  – точки кадра  $I'$ ;

$(x''; y'')$  – соответствующие точки кадра  $I''$ .

Задача определения глобального движения сводится к минимизации функции шести параметров (4).

$$F(I', I''; A_{11}, \dots, A_{23}) = \sum_{i,j} \left[ \left( A_{11} \cdot x'_{i,j} + A_{12} \cdot y'_{i,j} + A_{13} - x''_{i,j} \right)^2 + \left( A_{21} \cdot x'_{i,j} + A_{22} \cdot y'_{i,j} + A_{23} - y''_{i,j} \right)^2 \right] \quad (4)$$

В статье описываются алгоритмы определения глобального движения для двух моделей:

- 1) четырехпараметровая модель

$$I'' = \begin{pmatrix} s \cdot \cos \varphi & -s \cdot \sin \varphi \\ s \cdot \sin \varphi & s \cdot \cos \varphi \end{pmatrix} I' + \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = F(a, b, s, \varphi) I' \quad (5)$$

$a, b, s, \varphi$  – сдвиг по горизонтали, сдвиг по вертикали, увеличение и поворот соответственно.

- 2) шестипараметровая модель

$$I'' = \begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix} I' + \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix} = F(a, b, c, d, e, f) I' \quad (6)$$

$a, b, c, d, e, f$  – параметры модели.

Тип используемой модели движения зависит от решаемой задачи.

### 3.1 Четырехпараметровая модель

#### 3.1.1 Определение увеличения

Важно максимально точно определить значение параметра  $S$ , так как он может вносить наибольшую погрешность. Авторы предлагают следующий алгоритм определения значения параметра  $S$ .

Заметим, что для пары векторов параметр  $S$  определяется точно. Рассмотрим два вектора:

$$V1: (x_1, y_1) - (x'_1, y'_1);$$

$$V2: (x_2, y_2) - (x'_2, y'_2).$$

Для них справедлива формула (7).

$$\begin{pmatrix} x_i' \\ y_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{V1,V2} \cdot \cos \varphi & -s_{V1,V2} \cdot \sin \varphi \\ s_{V1,V2} \cdot \sin \varphi & s_{V1,V2} \cdot \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \quad (7)$$

$i = 1, 2$

Проведя несложные вычисления, получаем формулу (8) для вычисления значения параметра  $S$ .

$$s_{V1,V2} = \sqrt{\frac{(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (8)$$

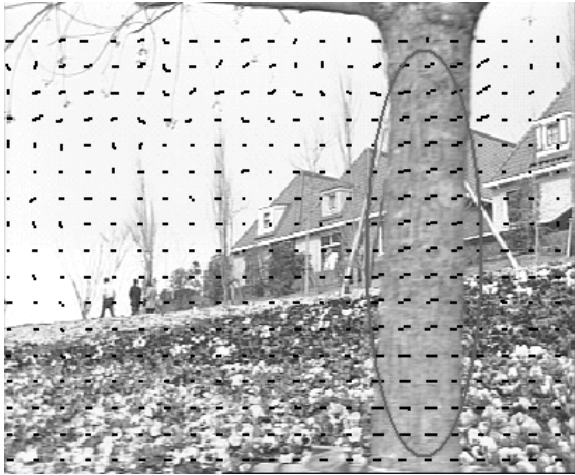
Этот результат используется при оценке увеличения в общем случае. Возьмем  $N$  произвольных элементов из множества надежных векторов. Для каждого выбранного вектора  $V_n$  ( $n \in 1..N$ ) определяется величина  $z_n$ , которая оценивает значение увеличения для одного вектора (локальное увеличение). Чтобы определить локальное увеличение для

вектора  $V_n$  выбираются произвольные векторы  $mv_m^n$  ( $m \in 1..M$ ) из множества надежных векторов, и для каждой пары векторов  $V_n$  и  $mv_m^n$  ( $n \in 1..N$ ,  $m \in 1..M$ ) по формуле (8) вычисляется значение  $S_{n,m}$ . Значение  $z_n$  вычисляется как аргумент максимума гистограммы построенной по значениям  $S_{n,m}$  (9).

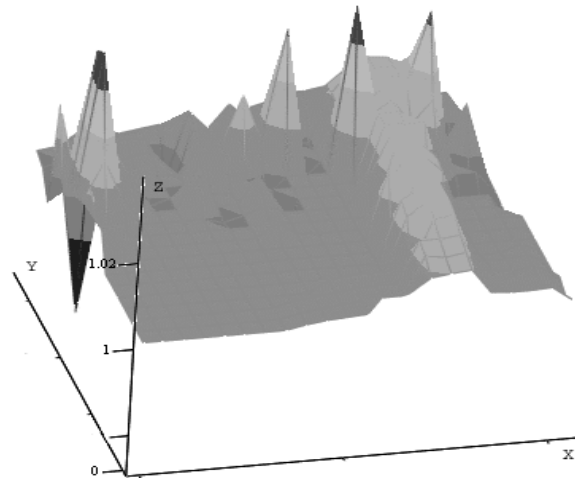
$$z_n = \arg \left( \max_{m \in [1;M]} \left( hist(S_{n,m}) \right) \right), n \in 1..N \quad (9)$$

Параметр  $S$  вычисляется аналогично, как аргумент максимума гистограммы построенной по значениям  $z_n$  ( $n \in 1..N$ ).

Некоторые вектора могут соответствовать движущимся или близким к камере объектам. Их нельзя использовать при



Кадр с векторами движения



Значения  $z_n$  для векторов движения

Рис. 3. Дополнительная фильтрация векторов движения (кадр 210 из последовательности "flower")

определении движения кадра, так как они вносят значительную ошибку. Из рисунка 3 видно, что такие вектора можно отбросить, используя полученные значения  $z_n$ . Фильтрация осуществляется следующим образом: из множества векторов  $V_n$  ( $n \in 1..N$ ) сохраняются вектора  $VF_k$  ( $k \in 1..K$ ,  $K < N$ ), для которых значение параметра  $z_k$  лежит в окрестности значения  $S$ , то есть  $z_k \in [S-t; S+t]$ . Величина порога  $t$  определяется экспериментально, исходя из требования, что не более 50% векторов могут быть отброшены.

### 3.1.2 Определение сдвигов и поворота

Для определения сдвигов и поворота авторы применяют метод наименьших квадратов. Функция потерь  $F(a, b, \varphi)$  определяется формулой (10).

$$F(a, b, \varphi) = \sum_{k \in [1;K]} \left[ \left( s \cdot \cos \varphi \cdot VF^{X1}_k - s \cdot \sin \varphi \cdot VF^{Y1}_k + a - VF^{X2}_k \right)^2 + \left( s \cdot \sin \varphi \cdot VF^{X1}_k + s \cdot \cos \varphi \cdot VF^{Y1}_k + b - VF^{Y2}_k \right)^2 \right] \quad (10)$$

- $VF^{X1}$ ,  $VF^{Y1}$  – координаты начала вектора;
- $VF^{X2}$ ,  $VF^{Y2}$  – координаты конца вектора.

В результате получим формулы (11-13) для оценки параметров  $a$ ,  $b$  и  $\varphi$  модели движения.

$$\varphi = \arccos \left( \frac{K \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{X2}_k{}^2 + K \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y2}_k{}^2 - \left[ \sum_{k \in [1;K]} VF^{X2}_k \right]^2 - \left[ \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y2}_k \right]^2}{\left[ \sum_{k \in [1;K]} VF^{X1}_k \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{X2}_k + \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y1}_k \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y2}_k - K \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{X1}_k \cdot VF^{X2}_k - K \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y1}_k \cdot VF^{Y2}_k + K \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{X1}_k \cdot VF^{Y2}_k - K \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y1}_k \cdot VF^{X2}_k \right]} \right) \quad (11)$$

$$a = \frac{1}{K} \cdot \left( \sum_{k \in [1;K]} VF^{X2}_k - s \cdot \cos \varphi \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{X1}_k + s \cdot \sin \varphi \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y1}_k \right) \quad (12)$$

$$b = \frac{1}{K} \cdot \left( \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y2}_k - s \cdot \sin \varphi \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{X1}_k - s \cdot \cos \varphi \cdot \sum_{k \in [1;K]} VF^{Y1}_k \right) \quad (13)$$

На рисунке 4 приведена блок-схема алгоритма для четырехпараметровой модели глобального движения.

Разделение вычисления параметра  $S$  и остальных параметров модели позволяет использовать значение  $S$  для дополнительной фильтрации поля векторов. Такой подход

позволяет значительно повысить точность определения параметров.



Рис. 4. Блок-схема алгоритма для четырехпараметровой модели глобального движения

## 3.2 Шестипараметровая модель

### 3.2.1 Определение локальных параметров

Для тройки векторов параметры модели (6) определяются однозначно. Рассмотрим три вектора:

$$V1: (x_1, y_1) - (x'_1, y'_1);$$

$$V2: (x_2, y_2) - (x'_2, y'_2);$$

$$V3: (x_3, y_3) - (x'_3, y'_3).$$

Пусть они получены в результате преобразования (6), тогда для них справедлива формула (14).

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a & d \\ b & e \\ c & f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x'_1 & y'_1 \\ x'_2 & y'_2 \\ x'_3 & y'_3 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Из формулы (14) легко выводится формула (15) для вычисления значений параметров.

$$\begin{pmatrix} a & d \\ b & e \\ c & f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} x'_1 & y'_1 \\ x'_2 & y'_2 \\ x'_3 & y'_3 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Для определения локальных параметров для вектора выбираются два произвольных вектора, и значения параметров вычисляются по формуле (15).

### 3.2.2 Определение параметров модели

Выберем  $N$  векторов из множества надежных векторов. Для каждого из них выбирается  $M$  произвольных пар векторов. Вычисляется  $M \times N$  значений локальных параметров. Параметры глобального движения вычисляются за пять шагов:

**Шаг 1.** Строится двухмерная гистограмма по значениям локальных параметров  $a$  и  $c$ . Находится максимум гистограммы. После чего значение параметров  $a$  и  $c$  модели движения определяется как соответствующие аргументы максимума.

**Шаг 2.** На этом шаге осуществляется фильтрация множества локальных параметров по найденным значениям параметров  $a$  и  $c$ . Отбрасываются те наборы локальных параметров, у которых соответствующие компоненты значительно отличаются от значений  $a$  и  $c$ .

**Шаг 3.** Строится двухмерная гистограмма по значениям локальных параметров  $e$  и  $f$ . Значения параметров  $e$  и  $f$  глобального движения вычисляются аналогично шагу 1.

**Шаг 4.** Осуществляется фильтрация множества локальных параметров по найденным значениям параметров  $e$  и  $f$ .

**Шаг 5.** Вычисляются значения параметров  $b$  и  $d$  глобального движения аналогично шагу 1.

Попарное определение параметров модели и фильтрация позволяют значительно повысить точность оценки значений параметров. Использование двухмерных гистограмм позволяет снизить объем требуемой оперативной памяти до приемлемого значения, что не возможно при использовании шестимерной гистограммы.

В отличие от подхода изложенного в статье [12], в предложенном алгоритме локальные параметры вычисляются для каждого надежного вектора (причем пары для него выбираются из всего множества достоверных векторов без каких-либо ограничений), а не для набора векторов из некоторой области. Также в предлагаемом алгоритме параметры глобального движения определяются за один проход, что значительно повышает скорость работы алгоритма в сравнении с [12].

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ

Авторы провели сравнение предложенных алгоритмов определения параметров движения с методом наименьших квадратов и методом взвешенных наименьших квадратов без фильтрации поля векторов по надежности.

### 4.1 Численное сравнение точности аппроксимации параметров

Численное сравнение осуществлялось с использованием синтетических видеопоследовательностей с известным глобальным движением. Кроме того, в видео добавлялся движущийся объект. Результаты измерений для четырехпараметровой модели движения (5) приведены в

таблице 2. Таблица отражает зависимость средней ошибки определения параметров движения от размера движущегося объекта. Ошибка выражается в процентах относительно ошибки определения параметров при применении метода взвешенных наименьших квадратов. Средние погрешности определения параметров глобального движения для синтетического видео без добавления движущегося объекта при использовании метода взвешенных наименьших квадратов приведены в таблице 1. Приведенная погрешность определения увеличения на видео формата CIF(320x288) может приводить к ошибке определения положения пикселя порядка 0,4 пикселя.

Таблица 1. Погрешность оценки параметров модели (5) методом взвешенных наименьших квадратов (WLS) на видео без движущихся объектов.

Ошибка определения сдвига по горизонтали (измеряется в пикселях)	0,34
Ошибка определения сдвига по вертикали (измеряется в пикселях)	0,19
Ошибка определения угла поворота (измеряется в градусах)	0,0015
Ошибка определения увеличения (абсолютное значение параметра)	0,00007

Таблица 2. Погрешность оценки параметров модели (5) методом наименьших квадратов (LS), взвешенных наименьших квадратов (WLS) и предлагаемым алгоритмом (FGME).

	Размер движущегося объекта, в процентах от размера кадра			
	5%	10%	15%	20%
	Ошибка определения сдвига по горизонтали (%)			
LS	190	297	390	467
WLS	117	158	228	348
FGME	97	97	98	98
	Ошибка определения сдвига по вертикали (%)			
LS	205	229	248	262
WLS	151	203	236	259
FGME	98	99	100	104
	Ошибка определения угла поворота (%)			
LS	1157	2935	4834	4749
WLS	1044	1335	1701	2808
FGME	58	61	105	249
	Ошибка определения увеличения (%)			
LS	736	1318	1708	2041
WLS	450	1047	1504	1701
FGME	31	42	50	63

В таблице 3 приведены погрешности определения параметров шестипараметровой модели движения (6) для синтетического видео с движущимся объектом. В качестве альтернативных алгоритмов использовались реализации методов наименьших квадратов и взвешенных наименьших квадратов для шестипараметровой модели

Таблица 3. Погрешность оценки параметров модели (6) методом наименьших квадратов (LS), взвешенных наименьших квадратов (WLS) и предлагаемым алгоритмом (FGME).  
Размер движущегося объекта 10% от размера кадра.

	LS	WLS	FGME
Параметр a	0,0011	0,0007	0,0002
Параметр b	0,0005	0,0002	0,0000
Параметр c	0,9792	0,4941	0,2965
Параметр d	0,0001	0,0001	0,0000
Параметр e	0,0007	0,0005	0,0001
Параметр f	0,3220	0,2151	0,1736

Приведенная статистика показывает, что предложенный алгоритм значительно превосходит метод взвешенных наименьших квадратов в точности определения параметров движения.

## 4.2 Визуальное сравнение

Для визуального сравнения алгоритмов использовался алгоритм построения панорамного изображения. Идея заключается в построении панорамного изображения по значениям параметров движения, найденных алгоритмами. Авторы провели сравнение на разнообразных видеопоследовательностях. На рисунке 5 приведен типичный результат работы алгоритмов. Он позволяет оценить превосходство предлагаемого алгоритма над конкурентами в точности определения параметров глобального движения.

На верхнем изображении приведен результат для метода наименьших квадратов, на среднем для метода взвешенных наименьших квадратов, на нижнем для предлагаемого алгоритма. Очевидно, что предлагаемый алгоритм значительно превосходит конкурентов по точности аппроксимации параметров глобального движения.



Метод наименьших квадратов



Метод взвешенных наименьших квадратов



Предлагаемый четырехпараметровый алгоритм

Рис. 5. Визуальное сравнение (последовательность “bus”)

### 4.3 Производительность алгоритмов

В таблицах 4 и 5 приведены среднее время обработки кадра и количество кадров обрабатываемых за секунду (FPS) для предлагаемых алгоритмов и метода наименьших квадратов с учетом и без учета алгоритма нахождения векторов движения (ME). Измерения производились для видео формата CIF(320x288) на Pentium-IV 1.6GHz.

Таблица 4. Производительность четырехпараметрового алгоритма определения глобального движения на Pentium-IV 1.6GHz.

	Без учета ME		С учетом ME	
	Время	FPS	Время	FPS
FGME	4.5 мс	219 fps	36.8 мс	27 fps
WLS	2.7 мс	370 fps	35.1 мс	28 fps
LS	1.3 мс	770 fps	33.6 мс	30 fps

Таблица 5. Производительность шестипараметрового алгоритма определения глобального движения на Pentium-IV 1.6GHz.

	Без учета ME		С учетом ME	
	Время	FPS	Время	FPS
FGME	10.8 мс	92.5 fps	43.1 мс	23 fps
WLS	2.5 мс	397 fps	34.8 мс	29 fps
LS	1.2 мс	833 fps	33.5 мс	30 fps

Также предлагаемый алгоритм приблизительно в 10 раз превосходит алгоритм [12] по скорости определения параметров движения.

## 5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной вклад данной статьи – быстрые алгоритмы определения параметров для двух моделей глобального движения, которые оценивают параметры с высокой точностью, а также способ быстрой фильтрации поля векторов движения. Предложенные алгоритмы работают в реальном времени даже с программной реализацией поиска векторов движения. Оба алгоритма предъявляют разумные требования к объему требуемой оперативной памяти.

Приведенные данные тестирования показывают, что предлагаемые алгоритмы значительно превосходят методы наименьших квадратов и взвешенных наименьших квадратов по точности определения параметров глобального движения, не сильно уступая ему в скорости обработки.

Благодаря этому предлагаемые алгоритмы применимы для решения многих актуальных задач. Например, для построения панорамного изображения, стабилизации видео и сжатия видео.

## 6 БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Y. Keller, A. Averbuch. “Fast Global Motion Estimation for MPEG-4 Video Compression”. Packet Video 2003, April 2003.
- [2] J. Shi, C. Tomasi. “Good Features to Track”. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593-600, 1999.
- [3] F. Dufaux, F. Moscheni. “Motion estimation techniques for digital TV: A review and a new contribution”. Proc. IEEE, Vol. 83, pp. 858-876, June 1995.
- [4] A. Litvin, J. Konrad, W.C. Karl. “Probabilistic Video Stabilization Using Kalman Filtering and Mosaicking”. Proceedings of SPIE Conference on Electronic Imaging, 2003.
- [5] K.-H. Lee, S.-H. Lee, S.-J. Ko. “Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching”. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp. 617-622, August 1998.

- [6] C.H. Morimoto, R. Chellappa. "Automatic digital image stabilization". Proc. of IEEE International Conference on Pattern Recognition, August 1996
- [7] T.-K. Chiew, P. Hill1, D.R. Bull1, C.N. Canagarajah. "Robust global motion estimation using the Hough transform for real time video coding". Picture Coding Symposium 2004, December 2004
- [8] R. Szeliski, M. Corporation. "Video Mosaics for Virtual Environments". IEEE Computers Graphics and Applications, Vol. 16, No. 2, pp. 22-30, March 1996
- [9] S. Olivieri, G. de Haan, L. Albani. "Noise-robust recursive motion estimation for H.263-based videoconferencing systems". Proc. Int. Workshop on Multimedia Signal Processing, September 1999, Copenhagen, pp. 345-350, 1999
- [10] F. Dufaux, J. Konrad. "Efficient, robust, and fast global motion estimation for video coding". IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 9, pp. 497-501, March 2000
- [11] M.J. Black and P. Anandan. "Robust dynamic motion estimation over time". In Proc. IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recog., pp 296-302, Maui, Hawaii, June 1991.
- [12] J.Y.A. Wang, E.H. Adelson. "Representing Moving Images with Layers". IEEE Trans. on Image Processing, 3, pp. 625-638, Sept. 1994.

### Об авторах

Станислав Солдатов — старший исследователь лаборатории компьютерной графики при факультете ВМиК МГУ

E-mail: [stass@graphics.cs.msu.ru](mailto:stass@graphics.cs.msu.ru)

Константин Стрельников — аспирант в Институте Прикладной Математики им М.В.Келдыша, сотрудник лаборатории компьютерной графики при факультете ВМиК МГУ.

E-mail: [kstrelnikov@graphics.cs.msu.ru](mailto:kstrelnikov@graphics.cs.msu.ru)

Дмитрий Ватолин — специалист в области сжатия изображений и видео с двенадцатилетнем стажем. К.ф.-м.н., IEEE Member, старший научный сотрудник лаборатории компьютерной графики при факультете ВМиК МГУ, руководитель ВидеоГруппы. Автор книг "Методы сжатия изображений" (Д. Ватолин) и "Методы сжатия данных" (Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин). Основатель серверов «Все о сжатии» <http://compression.ru/> и "Compression Links" <http://www.compression-links.info/>.

E-mail: [dmitriy@graphics.cs.msu.ru](mailto:dmitriy@graphics.cs.msu.ru)

## Fast and Robust Global Motion Estimation in Video Sequences

### Abstract

Global motion information is used in many video processing and video coding tasks. Often in real applications some motion estimation information already exists when global motion is estimated. Usually this is block-matching motion information (especially in video coding applications). Here authors propose global motion estimation algorithms based on block-matching motion field estimation. Algorithms estimate different motion models and could be useful for solving of many actual problems. As block-matching motion vectors are unreliable special attention is devoted to motion field filtration. In particular motion vectors reliability estimation algorithm is proposed for primary motion field filtration. Global motion parameters are calculated in steps with additional motion field filtration between steps to increase parameter robustness. Proposed algorithms estimate global motion parameters in fast and robust manner.

**Keywords:** *global motion estimation, motion vector reliability estimation, motion field filtration.*

### About the authors

Stanislav Soldatov is senior researcher at the Laboratory of Computer Graphics and Multimedia at Moscow State University, Department of Computational Mathematics and Cybernetics.

E-mail: [stass@graphics.cs.msu.ru](mailto:stass@graphics.cs.msu.ru)

Konstantin Strelnikov is Ph.D. student at Keldysh Institute of Applied Mathematics, researcher at the Laboratory of Computer Graphics and Multimedia at Moscow State University, Department of Computational Mathematics and Cybernetics.

E-mail: [kstrelnikov@graphics.cs.msu.ru](mailto:kstrelnikov@graphics.cs.msu.ru)

Dmitriy Vatolin is a expert in image, video and data compression with more than 12 years experience. Ph.D. in graphics compression, IEEE Member. Books: "Image compression algorithms" (D.Vatolin), "Data compression methods" (D.Vatolin, A.Ratushniak, M.Smirnov, V.Yukin). Senior researcher at the Laboratory of Computer Graphics and Multimedia at Moscow State University, Department of Computational Mathematics and Cybernetics. Head of VideoGroup. Founder of "The Compression Project" <http://compression.ru/> and "Compression Links" <http://www.compression-links.info/>

E-mail: [dmitriy@graphics.cs.msu.ru](mailto:dmitriy@graphics.cs.msu.ru)