зовании других алгоритмов синтеза замкнутых систем, основанных на методе обратных операторов. Возможно также использование $\underline{H}(s)$, $\overline{H}(s)$ и $\hat{H}(s)$ при организации процесса обучения в системах искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Управление динамическими системами в условиях неопределенности / С. Т. Кусимов, Б. Г. Ильясов, В. И. Васильев и др. – М. : Наука, 1998. – 452 с.

2. Поляк, Б. Т. Робастная устойчивость и управление / Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков. – М. : Наука, 2002. – 303 с.

3. *Кабальнов, Ю. С.* Синтез систем управления в условиях интервальной параметрической неопределенности / Ю. С. Кабальнов, А. Г. Лютов, Ф. Г. Насибуллин // Известия вузов. Авиационная техника. – 2000. – № 1. – С. 7–10.

4. Цейтлин, Я. М. Проектирование оптимальных линейных систем. – Л. : Машиностроение, 1973. – 240 с.

5. Цыпкин, Я. 3. Основы теории автоматических систем. – М. : Наука, 1977.

6. *Пухов*, *Г. Е.* Синтез многосвязных систем по методу обратных операторов / Г. Е. Пухов, К. Д. Жук. – Киев : Наук. думка, 1966. – 218 с.

7. Оптимизация многомерных систем управления газотурбинных двигателей летательных аппаратов / под ред. А. А. Шевякова и Т. С. Мартьяновой. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.

УДК 681.327.1

Е. А. Коплович, аспирант Московский институт электронной техники

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СМЕЩЕНИЯ ВИДЕОКАДРА НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ХАРАКТЕРНЫХ БЛОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДКП

В статье предложен алгоритм для определения смещения кадра из видеопоследовательности, основанный на использовании поля векторов движения. Особенность алгоритма заключается в выборе характерных блоков по коэффициентам ДКП, использование которых позволяет повысить точность, а также снизить вычислительные затраты на определение сдвига кадра. Представлены результаты тестирования алгоритма на нескольких видеопоследовательностях.

Глобальная компенсация движения (global motion estimation, GME) – одна из актуальных задач обработки последовательности видеокадров. В настоящее время разработаны методы, позволяющие использовать информацию о перемещении источника видеосигнала (камеры) для повышения степени сжатия [1; 2] и построения панорамных изображений [3]. Кроме того важным приложением GME является подавление дрожания кадра (стабилизация видеопоследовательности) [4], применяемое, в частности, в бортовых системах видеонаблюдения.

Существующие способы глобальной компенсации можно разделить на несколько категорий:

1) *структурные методы*, в основе которых лежит определение и отслеживание характерных элементов на кадрах;

© Коплович Е. А., 2006

2) корреляционные методы, использующие некоторую функцию сходства, минимизация которой проводится при различных значениях параметров преобразования;

3) спектральные методы, работающие в области ортогональных преобразований со спектрами изображений.

Глобальная компенсация может проводиться либо с использованием всего видеокадра целиком, либо с использованием лишь некоторых его частей, для которых независимо определяются векторы перемещения (motion vectors). Использование векторов перемещения является одним из самых распространенных методов благодаря сравнительно небольшой вычислительной сложности. Этот способ включает, во-первых, выбор участков, для которых будет производиться определение перемещения; во-вторых, определение для каждого из участков его вектора движения; в-третьих, объединение результатов с целью получения оценки глобального перемешения.

Неотъемлемой частью практически всех алгоритмов видеосжатия является блочная компенсация движения. Для этого видеокадр Х разбивается на участки X_{*m n*} (обычно 8×8 пикселов), для которых определяется перемещение. Получен-

ное поле векторов движения далее может быть использовано для глобальной компенсации. В качестве примеров алгоритмов, работающих с полем векторов движения, можно привести [5; 6].

Недостатком подхода, основанного на поле векторов, является его низкая точность, обусловленная наличием в поле ошибочных векторов, которые особенно часто появляются на однородных участках видеокадра. Одним из способов решения этой проблемы является фильтрация полученных векторов на основе некоторого критерия. Так, К. Н. Стрельников, С. А. Солдатов, Д. С. Ватолин [7] предлагают определять достоверность вектора движения для блока $X_{m,n}$ на основе следующих параметров:

1) ошибки приближения (суммы абсолютных разностей пикселов блока X_m

и соответствующего ему блока из предыдущего кадра);

2) дисперсии блока $X_{m,n}$;

3) среднеквадратичного отклонения вектора от четырех соседних векторов.

С помощью данных характеристик строится функция доверия, на основании которой производится фильтрация поля векторов движения и определяется, какие из них могут участвовать в нахождении глобального перемещения.

Другим способом повышения точности GME является определение векторов движения не для всех блоков $X_{m,n}$, а лишь для некоторых. При этом отпадает необходимость дополнительной фильтрации, что снижает вычислительную сложность, но, с другой стороны, остро встает вопрос, как выбирать блоки. Например, в статье [8] в качестве таких участков предлагается использовать 5 случайно выбранных частей кадра размером 25×25 пикселов. Однако эффективность такого алгоритма сильно зависит от характера входного видеокадра.

Рассмотрим предлагаемый способ выбора участков изображения, позволяющий выделять характерные опорные блоки, векторы перемещений которых можно считать достоверными и использовать при дальнейшем определении глобального движения. В качестве таких участков берутся блоки размером 8×8 пикселов. Классификация блоков проводится на основе значений коэффициентов дискретного коси-

нусного преобразования (ДКП). Ниже представлен алгоритм определения сдвига кадра на основе поля векторов движения выбранных блоков.

Алгоритм определения сдвига изображения

Шаг 1

Изображение размером $M \times N$ пикселов разбивается на блоки $\mathbf{X}_{m,n}$ размером

 8×8 пикселов, $m = 0, ..., \frac{M}{8} - 1, n = 0, ..., \frac{N}{8} - 1$. Для каждого блока выполняется

ДКП: $Y_{m,n} = DCT(X_{m,n})$.

Шаг 2

Чтобы выделить характерные блоки, для каждого из наборов коэффициентов ДКП $\mathbf{Y}_{m,n} = \left\{ y_j \right\}_{j=0}^{63}$ вычисляется сумма квадратов коэффициентов, отмеченных се-

рым цветом на рис. 1: $E_{m,n} = \sum_{j=3}^{9} y_j^2$.

DC	y_1	<i>y</i> ₅	y_6		$\overline{}$		$\overline{}$
<i>y</i> ₂	<i>y</i> ₄	y7/					
<i>y</i> ₃	y ₈						
<i>y</i> 9							
		2		4		4	-

Рис. 1. Блок коэффициентов ДКП У " "

Шаг З

Из всех блоков $\mathbf{X}_{m,n}$ для дальнейшего анализа остаются 10 % блоков

 $\left\{\mathbf{X}_{\tilde{m},\tilde{n}}\right\}, \ \widetilde{m} \in \mathbf{I}_1 \subseteq \left\{0, ..., \frac{M}{8} - 1\right\}, \ \widetilde{n} \in \mathbf{I}_2 \subseteq \left\{0, ..., \frac{N}{8} - 1\right\}, \ \text{имеющих наибольшее зна-$

чение параметра E. Из полученного множества исключаются одиночные блоки – блоки, у которых нет соседей слева, справа, сверху и снизу. Таким образом, на данном шаге из рассмотрения убираются блоки, попадающие на однородные участки изображения.

Шаг 4

Из блоков $\{\mathbf{X}_{\bar{n},\bar{n}}\}$ с предыдущего шага случайным образом выбираются T блоков. Такой способ выбора блоков позволяет минимизировать влияние движущихся объектов на точность определения параметров сдвига. Для каждого из блоков с помощью некоторого алгоритма вычисляется вектор перемещения \mathbf{r}_i , i = 0, ..., T - 1. На основе этих векторов с помощью медианной фильтрации по каждой компоненте определяется смещение изображения. В табл. 1–3 приведены результаты тестирования предложенного алгоритма на трех видеопоследовательностях (размер кадра 1024×768 пикселов), полученных при различных погодных условиях. Для последовательностей были заранее известны значения сдвига каждого кадра с точностью до одного пиксела, максимальное возможное перемещение составляло 32 пиксела в обоих направлениях. На рис. 2 – кадр из тестовой последовательности, на рис. 3 – характерные блоки, определенные на 3-м шаге алгоритма.





Рис. 2. Кадр из видеопоследовательности Snow

Рис. 3. Множество блоков, найденное на 3-м шаге алгоритма

Перемещения блоков находились с помощью двух алгоритмов: полного перебора в области ± 32 пиксела по вертикали и горизонтали, а также субоптимального алгоритма поиска в такой же области, на первом этапе которого поиск наиболее похожего блока проводится с шагом в 2 пиксела, а на втором этапе перемещение уточняется до 1 пиксела (рис. 4).



Рис. 4. Субоптимальный поиск перемещения блока

Для каждого кадра последовательностей при одинаковых значениях всех параметров перемещение $\mathbf{r}'_f(k)$, $k = \overline{1,10}$ определялось 10 раз (отличались лишь блоки, которые случайным образом выбирались на 4-м шаге алгоритма), после чего полученные значения усреднялись. В табл. 1-3 приведены следующие результаты:

1. Максимальная ошибка $\Delta_{\max} = \max_{f=1,F} \left(|\mathbf{r}_f - \mathbf{r}'_f| \right)$, где F – число кадров в после-

довательности; \mathbf{r}_f и \mathbf{r}'_f – реальное и найденное перемещение кадра, такое, что $\left|\mathbf{r}'_f - \mathbf{r}_f\right| = \max_{k=1,10} \left(\left|\mathbf{r}'_f(k) - \mathbf{r}_f\right| \right).$

2. Среднее значение ошибки $\overline{m} = \underset{f=1, \overline{F}}{\operatorname{mean}} \left(\left| \mathbf{r}_{f} - \mathbf{r}_{f}' \right| \right), \mathbf{r}_{f}' = \underset{k=1, 10}{\operatorname{mean}} \left(\mathbf{r}_{f}'(k) \right).$

3. Стандартное отклонение ошибки $\sigma_{\mathbf{r}} = \underset{f=\mathbf{l}, F}{\text{std}} \left(\left| \mathbf{r}_{f} - \mathbf{r}_{f}' \right| \right).$

Как видно из табл. 1–3, предложенный алгоритм показывает хорошие результаты на сложных видеопоследовательностях даже при небольшом количестве анализируемых блоков. Также можно сделать вывод, что помимо выбора характерных блоков важную роль играет способ определения перемещения для каждого блока. Поэтому в данном случае имеет смысл использовать алгоритм полного перебора, но при этом выбирать не так много блоков, как потребовалось бы для субоптимального алгоритма для достижения приемлемой точности.

Таблица 1. Результаты для видеопоследовательности Snow (31 кадр)

	Пс	Полный перебор			Субоптимальный алгоритм			
Число блоков 1	$\Delta_{\rm max}$	\overline{m}	σ_r	Δ_{\max}	\overline{m}	σ_r		
30	1,000	0,003	0,018	19,235	0,932	1,245		
50	0,000	0,000	0,000	13,000	0,538	0,955		
100	0,000	0,000	0,000	7,071	0,419	1,050		
200	0,000	0,000	0,000	7,616	0,295	1,016		
300	0,000	0,000	0,000	6,083	0,260	0,799		

Таблица 2. Результаты для видеопоследовательности Rain (46 кадров)

	Полный перебор			Субоптимальный алгоритм			
Число блоков І	$\Delta_{\rm max}$	\overline{m}	σ_r	Δ_{\max}	\overline{m}	σ_r	
30	0,000	0,000	0,000	16,000	0,887	1,440	
50	0,000	0,000	0,000	14,036	0,649	1,301	
100	0,000	0,000	0,000	11,000	0,326	0,839	
200	0,000	0,000	0,000	8,062	0,350	0,926	
300	0,000	0,000	0,000	9,055	0,351	1,056	

Таблица 🗄	3. Результаты	для видеопоследовательно	сти С	loudy ((46 кад	ров)
-----------	---------------	--------------------------	-------	---------	---------	-----	---

	Полный перебор			Субоптимальный алгоритм			
Число блоков 1	$\Delta_{\rm max}$	\overline{m}	σ_r	Δ_{\max}	\overline{m}	σ_r	
30	0,000	0,000	0,000	24,515	1,737	3,101	
50	0,000	0,000	0,000	22,136	1,141	2,521	
100	0,000	0,000	0,000	17,720	0,825	2,179	
200	0,000	0,000	0,000	14,866	0,712	2,007	
300	0,000	0,000	0,000	18,028	0,764	2,366	

Для сравнения: в табл. 4 представлены результаты определения смещения кадра с использованием алгоритма полного перебора и без определения характерных блоков на 3-м шаге (случайные блоки на 4-м шаге выбираются из всех существую-

цих). Видно, что даже при большом числе анализируемых блоков (200) не удается достичь такой же точности, как при расчете по 30 характерным блокам.

н с т	Snow		Rain		Cloudy	
Число олоков 1	\overline{m}	σ_r	\overline{m}	σ_r	\overline{m}	σ_r
50	7,701	3,640	5,769	3,980	7,469	4,269
200	8,112	4,649	5,501	4,156	7,486	4,447

Таблица 4. Результаты при использовании полного перебора и без выбора характерных блоков на 3-м шаге алгоритма

Кроме того важно отметить, что коэффициенты ДКП, необходимые для классификации блоков, к моменту определения глобального перемещения могут быть уже найдены, если до этого проводилось сжатие видеопотока (т. к. большинство существующих алгоритмов основано на использовании блочного ДКП), и повторно их вычислять не будет необходимости. Если же ведется обработка еще не сжатых данных, то вычисленное блочное ДКП можно будет использовать в дальнейшем при компрессии видеопоследовательности.

Алгоритм, рассмотренный в данной работе, предназначен для определения смещения кадра, однако по найденным векторам движения можно также вычислить параметры поворота и масштабирования видеоизображения (см., например, [6; 7]).

Список литературы

1. Zhang, Kui, Kittler, Josef. Global motion estimation and robust regression for video coding. Proc.Int'l Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Seattle, WA, May 1998: 241–244.

2. Averbuch, A., Keller, Y. Fast global motion estimation for MPEG-4 video compression, Packet Video 2003, France, April 28-29, 2003.

3. Li, Y., Xu, Li, Morrison, G., Nightinggale, C., Morphett, J. Robust panorama from mpeg video. Vol. I, p. 81-84, ICME, 2003.

4. Marcenaro, L., Vernazza, G., Regazzoni, C. S. Image stabilization algorithms for videosurveillance applications. Proc. Int. Conf. on Image Processing, vol. 1, pp. 349–352, 2001.

5. *Heuer, J., Kaup, A.* Global motion estimation in image sequences using robust motion vector field segmentation. Proc. ACM Multimedia, Nov. 1999, pp. 261–264.

6. *Vlachos*, *T*. Simple method for estimation of global motion parameters using sparse translational motion vector fields. Electronics Letters, Vol. 34, No. 1, 8th January 1998.

7. Стрельников, К. Н. Качественное определение глобального движения кадра с использованием векторов движения / К. Н. Стрельников, С. А. Солдатов, Д. С. Ватолин // матер. девятого науч.-практ. семинара «Новые информационные технологии в автоматизированных системах». Москва, март 2006. – С. 47–55.

8. Алпатов, Б. А. Оценивание параметров смещения изображения при выделении движущихся объектов / Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян // Цифровая обработка сигналов и ее применения : докл. 8-й Междунар. конф. Т. 2. – М., 2006. – С. 375–378.