

Оригинальная статья / Original article

УДК 0004.9

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-4-204-215>



Метод извлечения векторов движения в системах технического зрения, использующих сжатие с потерями

И. О. Шальнев¹, А. Ю. Аксенов¹✉

¹ Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург 199178, Российская Федерация

✉ e-mail: a_aksenov@iias.spb.su

Резюме

Цель исследования. В современном цифровом повышается роль использования видеокамер в качественных источниках первичных данных. Однако сами по себе «сырые» видеоданные несут низкую информационную ценность без последующего анализа. Ключевыми задачами, позволяющими извлечь смысловую информацию из видеопоследовательности, является локализация объектов и определение их движения. Актуальность этой задачи обусловлена ее критической важностью для широкого спектра прикладных и исследовательских дисциплин. Несмотря на длительную историю, определение движущихся объектов остается актуальной научной проблемой в связи с наличием следующих трудностей: изменчивость условий освещения, динамический фон, эффекты окклюзии, необходимость работы в реальном времени. Целью работы является снижение вычислительной нагрузки при решении задач анализа движения объектов в реальном времени путем разработки и апробации метода извлечения векторов движения из сжатых видеопотоков.

Методы. Для реализации поставленной цели был использован аппарат векторов движения как основа компенсации временной избыточности, а также алгоритмы технического зрения и алгоритмы компенсации движения в видеоданных.

Результаты. Создан программный модуль, позволяющий извлекать векторы движения непосредственно из видеопотока. Выполнена экспериментальная проверка эффективности работы предложенного метода и продемонстрирована его эффективность в различных прикладных областях, включая видеонаблюдение, сельское хозяйство и робототехнику при значительном снижении вычислительных затрат.

Заключение. Произведенные экспериментальные проверки показали, что использование векторов движения, уже содержащихся в сжатых видеоданных, позволяет эффективно решать задачи анализа движения без необходимости их повторного вычисления, что особенно актуально для систем с ограниченными вычислительными ресурсами.

Ключевые слова: машинное зрение; оптический поток; векторы движения; сжатие с потерями; видеоданные.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Шальnev И. О., Аксенов А. Ю. Метод извлечения векторов движения в системах технического зрения, использующих сжатие с потерями // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025; 29(4): 204-215. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-4-204-215>.

Поступила в редакцию 12.10.2025

Подписана в печать 06.11.2025

Опубликована 22.12.2025

Motion vector extraction method for computer vision systems employing lossy compression

Ilia O. Shalnev¹, Alexey Yu. Aksakov¹✉

¹ St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
14th Line V.O., 39, St. Petersburg 199178, Russian Federation

✉ e-mail: a_aksenov@iias.spb.su

Abstract

Purpose of research. In the modern digital era, the role of video cameras as high-quality sources of primary data is increasing. However, raw video data by themselves carry low informational value without subsequent analysis. The key tasks that allow extracting semantic information from a video sequence are object localization and motion detection. The relevance of this task is determined by its critical importance for a wide range of applied and research disciplines. Despite its long history, detecting moving objects remains a relevant scientific problem due to the following challenges: variability of lighting conditions, dynamic background, occlusion effects, and the need to operate in real time. The aim of this work is to reduce computational load when solving object motion analysis tasks in real time by developing and testing a method for extracting motion vectors from compressed video streams.

Methods. To achieve this goal, the framework of motion vectors was used as the basis for compensating temporal redundancy, along with computer vision algorithms and motion compensation algorithms in video data.

Results. A software module has been developed that allows extracting motion vectors directly from a video stream. An experimental evaluation of the proposed method's effectiveness was carried out, demonstrating its efficiency in various applied fields, including video surveillance, agriculture, and robotics, with a significant reduction in computational costs.

Conclusion. The experimental evaluations have shown that using motion vectors already contained in compressed video data allows effectively solving motion analysis tasks without the need to recalculate them. This is especially relevant for systems with limited computational resources.

Keywords: computer vision; optical flow; motion vectors; lossy compression; video data.

Conflict of interest. The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Shalnev I. O., Aksakov A. Yu. Motion vector extraction method for computer vision systems employing lossy compression. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(4): 204-215 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-4-204-215>.

Received 12.10.2025

Accepted 06.11.2025

Published 22.12.2025

Введение

В современном цифровом мире повышается роль использования видеокамер в качестве источников первичных данных. Однако сами по себе «сырые» видеоданные без последующего анализа имеют низкую информационную ценность. Клю-

чевыми задачами, решение которых позволит извлечь смысловую информацию из видеопоследовательности, являются локализация объектов и определение их движения. Актуальность этой задачи обусловлена ее критической важностью для широкого спектра прикладных и исследовательских дисциплин.

Примерами задач, где требуется анализ движения на видеокадре, являются: системы видеонаблюдения и безопасности (обнаружение, подсчет посетителей, мониторинг дорожного трафика), автономные транспортные системы, системы помощи водителю [1], компьютерное зрение в робототехнике (включая задачи навигации мобильных роботов в динамически изменяющейся среде) [2], анализ медицинских изображений (отслеживание движения контрастного вещества в сосудах, изучение двигательной активности пациентов с неврологическими заболеваниями, распознавание людей по походке, анализ мимики и жестов), человеко-машинное взаимодействие и дополненная реальность (системы управления жестами и технологии дополненной реальности) [3].

Несмотря на длительную историю, определение движущихся объектов остается актуальной научной проблемой в связи с наличием таких трудностей, как изменчивость условий освещения, динамический фон, эффекты окклюзии, необходимость работы в реальном времени [4].

Анализ ранних исследований [5–6] показал снижение активности по разработке собственных алгоритмов оценки движения в видеоданных примерно с 2010 года, что обусловлено переходом на доступные программные реализации алгоритмов Лукаса-Канаде, Фарнбека, реализованные в составе открытой библиотеки компьютерного зрения OpenCV¹.

Большинство современных цифровых камер имеют в своем составе блоки сжатия видео с потерями на основе стандартных кодеков (кодеров/декодеров): MPEG-4 Part 2, H.264/AVC, H.265/HEVC и др. В свою очередь, большинство видеокодеков реализует устранение временной избыточности видеопотока за счёт поиска и кодирования векторов перемещённых блоков (motion vectors) [7–8], описывающих смещение пиксельных макроблоков в между соседними кадрами (рис. 1).

Восстановление произвольного кадра видеопотока в грубом приближении происходит за счет разбиения на макроблоки полностью сохраненных кадров (называемых опорными), из которых затем собирается искомый кадр путем перемещения макроблоков с помощью векторов движений.

Таким образом, сам закодированный видеопоток уже содержит информацию о движении в кадре. Учитывая факт, что большинство цифровых, сетевых камер выдают видеоданные в сжатом формате, целесообразно использовать имеющиеся в них данные о временной избыточности, выраженной в виде векторов движений отдельных макроблоков. В этом случае не требуется привлечение дополнительных вычислительных ресурсов для повторного извлечения векторов движения для объектов, которые нужны в ряде известных алгоритмов [9, 10].

¹ OpenCV library. OpenCV; 2025. URL: <https://opencv.org/>.

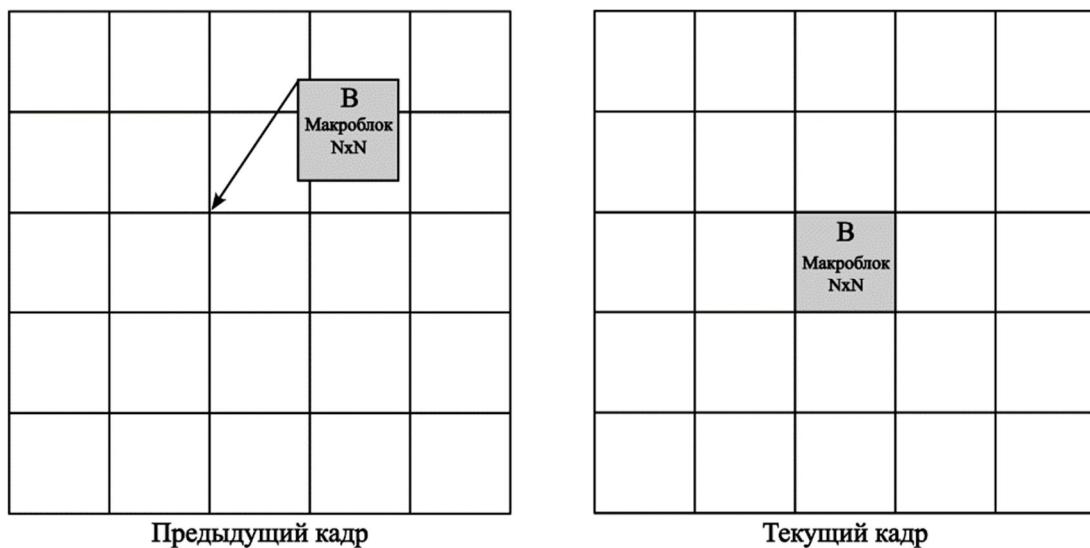


Рис. 1. Принцип определения векторов движений

Fig. 1. The principle of motion vectors detection

Материалы и методы

Векторы движения как основа компенсации временной избыточности. Одним из базовых механизмов алгоритмов сжатия видео с потерями (стандарты семейства H.26x и VP9/AV1) является устранение временной избыточности. В связи с тем, что соседние кадры в видеопоследовательности (Group of Pictures) часто содержат незначительные изменения, связанные с перемещением объектов или камеры, попиксельное хранение каждого кадра оказывается неэффективным. Вместо этого используется компенсация движения – метод, предсказывающий содержимое текущего кадра (P- или B-кадра) на основе одного или нескольких ранее закодированных опорных кадров (I- или P-кадров). Ключевым элементом такого представления является вектор движения (Motion Vector), который указывает, откуда в опорном кадре был взят блок

пикселей для предсказания текущего блока в кодируемом кадре¹ [11-14].

Процесс работы с векторами движения в кодеках состоит из двух этапов: оценка движения (Motion Estimation) и компенсация движения (Motion Compensation).

Пусть $I_t(x, y)$ – интенсивность пикселя с координатами (x, y) в текущем кадре в момент времени t , а $I_{t-\Delta t}(x, y)$ – интенсивность в опорном кадре.

Задача оценки движения для макроблока B размером $N \times N$ (например, 16x16 или 8x8) в текущем кадре сводится к поиску такого вектора $\vec{v} = (v_x, v_y)$, который минимизирует функцию ошибки предсказания в пределах области поиска в опорном кадре:

¹ Joint Video Team (JVT) of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC). Document JVT-G050; 2003.

$$\vec{v} = \operatorname{argmin}_{(v_x, v_y) \in S} \sum_{(x,y) \in B} D(I_t(x,y), I_{t-\Delta t}(x+v_x, y+v_y)),$$

где D – функция оценки искажений (distortion), например сумма разностей – *SAD* (Sum of Absolute Differences) или сумма квадратов отклонений (SSE):

$$\begin{aligned} SAD(v_x, v_y) &= \\ &= \sum_{(x,y) \in B} D|I_t(x,y) - I_{t-\Delta t}(x+v_x, y+v_y)|. \end{aligned}$$

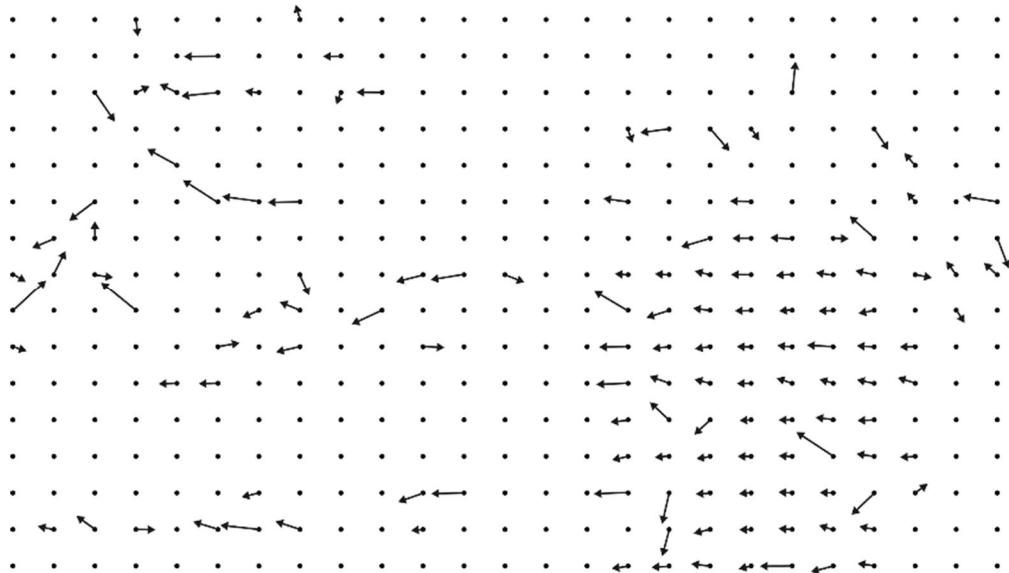


Рис. 2. Типичное представление карты векторов движения в кодеке H.264 [15]

Fig. 2. Typical representation of motion vector map in H.264 codec [15]

Для поиска движений может быть использован полный перебор (Full Search) всех возможных смещений в области поиска, который обеспечивает нахождение глобального оптимума, но вычислительно сложен. Также применяются быстрые алгоритмы поиска:

1. Трехшаговый поиск – итеративный поиск с большим шагом на первом этапе и уменьшением шага на последующих.

2. Алгоритм diamond search – поиск по шаблону в форме ромба, что лучше соответствует естественному распределению векторов движения.

Найденный вектор \vec{v} является вектором движения для макроблока – группы пикселей прямоугольной формы. В процессе кодирования кодер передает не сам блок пикселей, а его вектор движения и разницу между реальным блоком и предсказанным (ошибку предсказания, residual) (рис. 2).

3. Иерархический (пирамидальный) поиск – оценка движения начинается на уменьшенной копии кадра для поиска грубого смещения с последующим уточнением на кадрах большего разрешения.

Современные кодеки (например, HEVC и AV1) используют адаптивное разбиение на блоки (Coding Tree Units). Это позволяет использовать векторы движения для блоков разного размера – от крупных (64x64) для однородных областей до мелких (4x4) – для границ объектов и мелких деталей.

Использование метаданных кодека позволяет извлекать эти векторы без

полной декомпрессии видеопотока. Известны программные реализации, частично реализующие функцию извлечения таких метаданных в виде интерпретируемого кода на языке Python¹, а также аппаратные варианты реализации² [16].

Результаты и их обсуждение

Программная реализация. Для извлечения векторов движения из видеопотока был разработан программный модуль захвата видеокадров на основе библиотеки FFmpeg³ (рис. 3). Данная реализация инвариантна к виду источника данных (videопоток с камеры, сетевой ресурс, локальный файл).

На первом этапе выполняется инициализация источника видеопотока, что включает следующие стандартные для FFmpeg действия:

- открытие контейнера
(avformat_open_input);
- чтение заголовков
(avformat_find_stream_info);

¹ Motion Vector Extractor [сайт]. GitHub; 2025 [обновлено 25 октября 2025; процитировано 25 октября 2025]. URL: <https://github.com/LukasBommes/mv-extractor>.

² Патент № 2837541 С1 Российская Федерация, МПК H04N 19/513, H04N 19/139, H04N 19/105. Устройство и способ для кодирования вектора движения и устройство и способ для декодирования вектора движения / М. Парк, М. Парк, К. Чой и др.; № 2024101234: заявл. 25.04.2024: опубл. 01.04.2025; заявитель САМСУНГ ЭЛЕКТРОНИКС КО., ЛТД; Патент № 2408160 С1 Российская Федерация, МПК H04N 7/28, G06T 7/20. Способ нахождения векторов движения деталей в динамических изображениях и устройство для его реализации / В. П. Дворкович, А. В. Дворкович, В. В. Нечепаев. № 2009130446/09: заявл. 10.08.2009: опубл. 27.12.2010/.

³ FFmpeg [сайт]. FFmpeg; 2025. URL: <https://ffmpeg.org>.

– поиск требуемого видеопотока среди доступных потоков внутри контейнера;

– создание и инициализация видеодекодера на основе параметров найденного потока.

Ключевым отличием от типичного декодирования является необходимость явно указать декодеру экспортовать векторы движения. Это достигается установкой соответствующего флага через словарь опций кодека:

```
av_dict_set(&mCodecOptions, "flags2",
"+export_mvs", 0);
```

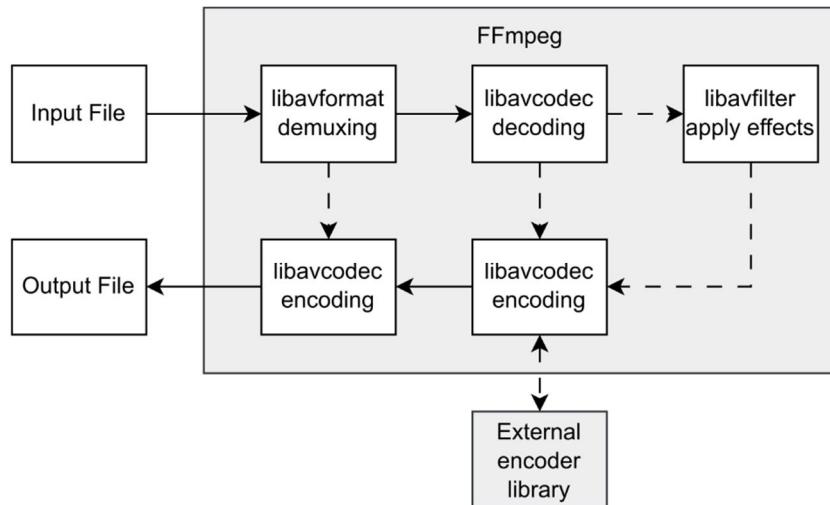
где "flags2" – имя параметра, а "+export_mvs" – значение, включающее экспорт векторов движения.

После успешной инициализации декодера можно последовательно извлекать кадры: сначала в сжатом виде (пакеты, AVPacket), затем передавать их в декодер (avcodec_send_packet), после чего получать раскодированные кадры (AVFrame) в формате, определяемом исходным видео (avcodec_receive_frame).

Если декодер был корректно настроен с флагом export_mvs, то в раскодированном кадре (AVFrame) будут присутствовать дополнительные (side) данные с типом AV_FRAME_DATA_MOTION_VECTORS. Их можно получить следующим образом:

```
AVFrameSideData* side_data =
av_frame_get_side_data(mAvFrame,
AV_FRAME_DATA_MOTION_VECTORS);
```

При наличии таких данных они содержат массив структур AVMotionVector, содержащий искомые векторы движения для отдельных блоков кадра (рис. 4).

**Рис. 3.** Структурная схема взаимодействий компонентов FFmpeg¹**Fig. 3.** Structural scheme of FFmpeg components interaction¹

```

typedef struct AVMotionVector {
    int32_t source;
    uint8_t w, h;
    int16_t src_x, src_y;
    int16_t dst_x, dst_y;
    uint64_t flags;
    int32_t motion_x, motion_y;
    uint16_t motion_scale;
} AVMotionVector;
  
```

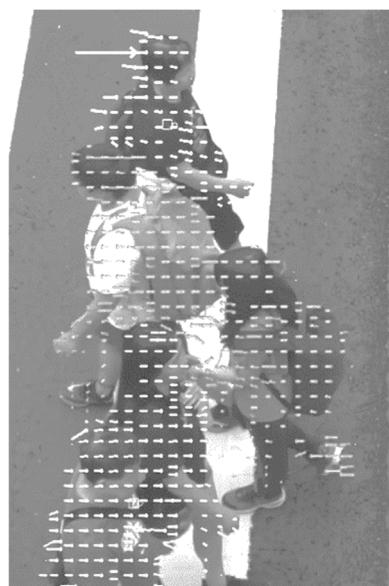
Рис. 4. Описание структуры данных AVMotionVector**Fig. 4.** The AVMotionVector data structure description

Области применения. Разработанный программный модуль был протестирован в трех различных задачах.

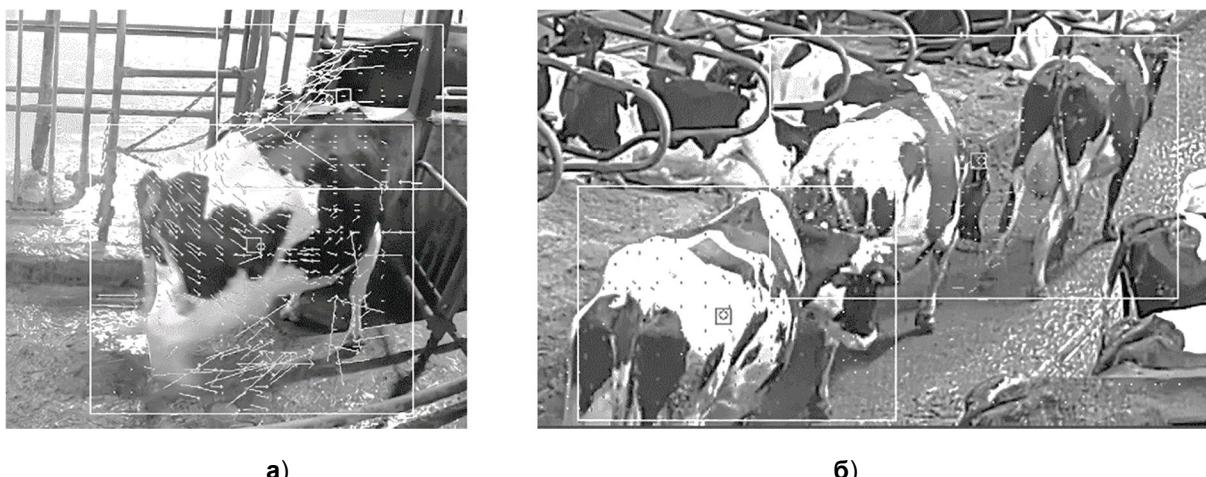
1. Мониторинг двигательной активности в поле зрения камеры – наиболее общий случай задачи, имеющий применение в охранных системах, системах сбора данных и аналитики (рис. 5).

2. Мониторинг поведения биологических объектов для решения сельскохозяйственных задач (рис. 6а, 6б). Дан-

ный мониторинг используется для раннего выявления физиологических отклонений, либо заболеваний у животных путем определения определенных физиологических состояний, либо отклонений от нормы через анализ их движения [17].

**Рис. 5.** Выделение векторов движения в задаче мониторинга дорожной обстановки**Fig. 5.** The motion vectors detection in road situational monitoring

¹ FFmpeg [сайт]. FFmpeg; 2025. URL: <https://ffmpeg.org>.



**Рис. 6. а – Определение состояний животных через выделение характерных движений,
б – Определение физиологических отклонений в походке животных**

Fig. 6. a – Obtaining of cattle health state through detection of characteristic motion patterns,
6 – Detection of physiological deviation in cattle walk pattern

3. Задача визуальной одометрии для автономных робототехнических комплексов (рис. 7). Данная задача актуальна для уточнения положения робототехнических комплексов (в частности, БЛА) в условиях недоступности систем глобальной спутниковой навигации (ГНСС) [18].

Разработанный программный модуль также может использоваться в задачах идентификации и сравнения видеопоследовательностей [19].

Выводы

Методы технического зрения, основанные на поиске и использовании векторов движения, являются важным

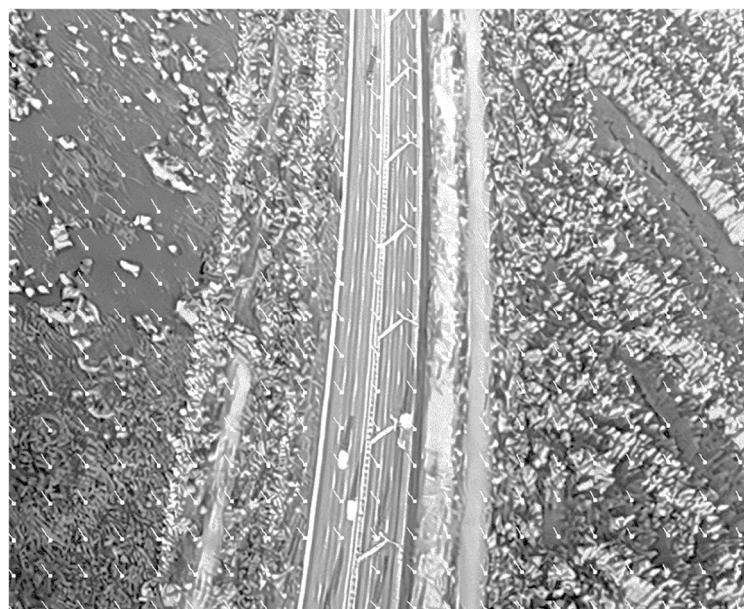


Рис. 7. Выделение векторов движения в задаче визуальной одометрии при движении БЛА

Fig. 7. Detection of motion vectors in visual odometry task for UAV

инструментом для устранения временной избыточности в видеопоследовательностях, сжатия видеоданных, решении прикладных задач, основанных на понимании семантики движения на видеофрагменте. Эволюция методов работы с ними – от простого блочного сопоставления до адаптивного разбиения, аффинного преобразования и сложных режимов предсказания – напрямую определяет рост эффективности сжатия в новых стандартах кодирования.

Анализ ранних исследований показал снижение активности по разработке собственных алгоритмов оценки движения в видеоданных примерно с 2010 года, что обусловлено переходом на доступные программные реализации алгоритмов Лукаса-Канаде, Фарнбека, реализованные в составе открытых и коммерческих библиотек компьютерного зрения.

Вместе с тем, большинство используемых методов остаются достаточно

ресурсоемкими по отношению к вычислителю.

Авторами предложен подход, основанный на использовании уже существующих данных о движении, которые формируются стандартными видеокодеками, и разработан программный модуль на языке C++ для извлечения векторов движения, позволяющий значительно сократить потребности вычислительных ресурсов при решении задачи определения движения объектов в видеоданных.

Данный подход может быть эффективно применен в задачах, где объемы обрабатываемых данных превосходят возможности используемых вычислителей, востребованных при разработке таких крупномасштабных проектов, как бортовые системы технического зрения, многоканальные системы транспортной безопасности, системы мониторинга живых объектов, системы поиска и идентификации видеоданных.

Список литературы

1. Audio-visual speech recognition based on regulated transformer and spatio-temporal fusion strategy for driver assistive systems / D. Ryumin, A. Axyonov, E. Ryumina, D. Ivanko, A. Kashevnik, A. Karpov // Expert Systems with Applications. 2024. 252(12). P.124159. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124159>.
2. Gupta S., Mamodiya U., Al-Gburi A. Speech Recognition-Based Wireless Control System for Mobile Robotics: Design, Implementation, and Analysis // Automation. 2025. 6(3). P.25. <https://doi.org/10.3390/automation6030025>.
3. Intelligent Human Operator Mental Fatigue Assessment Method Based on Gaze Movement Monitoring / A. Kashevnik, S. Kovalenko, A. Mamonov, B. Hamoud, A. Buligin, V. Kuznetsov, I. Shoshina, I. Brak, G. Kiselev // Sensors. 2024. 24(21). P.6805. <https://doi.org/10.3390/s24216805>.
4. Gershman S.J., Bill J., Drugowitsch J. Hierarchical Vector Analysis of Visual Motion Perception // Annual Review of Vision Science. 2025. 11. P.411-422. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-110323-031344>.

5. Paragios N., Chen Y., Faugeras O., editors. Mathematical Models in Computer Vision. New York: Springer, 2005. P. 239-258.
6. Kesrarat D., Patanavijit V. Noise resistance evaluation of spatial-field optical flow using modifying Lorentzian function // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 2022; 11(5):2603-2610. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i5.3815>.
7. Liu H., Fach S., Steinebach M. Motion Vector based Robust Video Hash // Proc. IS&T Int'l. Symp. on Electronic Imaging: Media Watermarking, Security, and Forensics, 2020. P. 218-1–218-7. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2020.4.MWSF-218>.
8. Chang S., Wang R. Novel motion estimation algorithm for image stabilizer // Engineering Computations. 2017. 34(1). P.77-89. <https://doi.org/10.1108/EC-11-2015-0345>.
9. Методы поиска движения в видеопоследовательностях / М.Н. Фаворская, А.И. Пахирка, А.С. Шилов, М.В. Дамов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2009. № 1-2. С. 69-73.
10. Chu Z., Li M. A Specific Algorithm Based on Motion Direction Prediction // Complexity. 2021. 2021. P. 6678596. <https://doi.org/10.1155/2021/6678596>.
11. Richardson I.E.G. H.264 and MPEG-4 Video Compression. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. P. 27-28.
12. Li D. Moving objects detection by block comparison // Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. 2000. Vol. 1. P. 341-344.
13. Кулешов С.В., Зайцева А.А. Временной анализ кодеков H.264 // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 11. С. 1092-1095.
14. Кулешов С.В. Гибридные кодеки и их применение в цифровых программируемых каналах передачи данных // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10, №5. С.41-45.
15. Vector Bank Based Multimedia Codec System-on-a-Chip (SoC) Design / R.-X. Chen, W. Zhao, J. Fan, A. Davari // 2009 International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks. 2009. P. 515-520. <https://doi.org/10.1109/I-SPAN.2009.74>.
16. Метод вычисления плотного оптического потока на ПЛИС в реальном времени / А.В. Братулин, М.Б. Никифоров, П.В. Беляков, Е.Ю. Холопов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т.15, №2. С. 320-330. <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.320-330>.
17. Анализ динамики физиологического состояния продуктивных коров на основе видеомониторинга / В.Ю. Осипов, С.В. Кулешов, А.А. Зайцева, В.Н. Суровцев, В.В. Ачилов // Сельскохозяйственная биология. 2024. 59(6). С.1131-1144. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.6.1131rus>.
18. Комплексный подход к визуальной навигации по естественным ориентирам для БПЛА, работающих в условиях недоступности ГНСС / С.В. Кулешов, А.В. Кваснов, А.А. Зайцева, А.Л. Ронжин // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. №2. С.269-278.

19. Фахрутдинов Р.Ш., Мирин А.Ю. Изучение возможности использования векторов движения сжатого видеопотока для его идентификации // Труды учебных заведений связи. 2022. №8(1). С.57-64. <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2022-8-1-57-64>.

References

1. Ryumin D., Axyonov A., Ryumina E., Ivanko D., Kashevnik A., Karrov A. Audio-visual speech recognition based on regulated transformer and spatio-temporal fusion strategy for driver assistive systems. *Expert Systems with Applications*. 2024; 252(12):124159. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124159>.
2. Gupta S., Mamodiya U., Al-Gburi A. Speech Recognition-Based Wireless Control System for Mobile Robotics: Design, Implementation, and Analysis. *Automation*. 2025; 6(3):25. <https://doi.org/10.3390/automation6030025>.
3. Kashevnik A., Kovalenko S., Mamonov A., Hamoud B., Bulygin A., Kuznetsov V., Shoshina I., Brak I., Kiselev G. Intelligent Human Operator Mental Fatigue Assessment Method Based on Gaze Movement Monitoring. *Sensors*. 2024; 24(21):6805. <https://doi.org/10.3390/s24216805>.
4. Gershman S.J., Bill J., Drugowitsch J. Hierarchical Vector Analysis of Visual Motion Perception. *Annual Review of Vision Science*. 2025; 11:411-422. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-110323-031344>.
5. Paragios N., Chen Y., Faugeras O. (eds.). *Mathematical Models in Computer Vision: The Handbook*. New York: Springer; 2005. P. 239-258.
6. Kesrarat D., Patanavijit V. Noise resistance evaluation of spatial-field optical flow using modifying Lorentzian function. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2022; 11(5):2603-2610. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i5.3815>.
7. Liu H., Fach S., Steinebach M. Motion Vector based Robust Video Hash. In: *Proc. IS&T Int'l. Symp. on Electronic Imaging: Media Watermarking, Security, and Forensics*. 2020. P. 218-1–218-7. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2020.4.MWSF-218>.
8. Chang S., Wang R. Novel motion estimation algorithm for image stabilizer. *Engineering Computations*. 2017;34(1):77-89. <https://doi.org/10.1108/EC-11-2015-0345>.
9. Favorskaya M.N., Pakhirka A.I., Shilov A.S., Damov M.V. Motion search methods in video sequences. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva = Bulletin of the Siberian State Aerospace University. academician M.F. Reshetnev*. 2009;(1-2):69-73. (In Russ.)
10. Chu Z., Li M. A Specific Algorithm Based on Motion Direction Prediction. *Complexity*. 2021; 2021:6678596. <https://doi.org/10.1155/2021/6678596>.
11. Richardson I.E.G. *H.264 and MPEG-4 Video Compression*. Chichester: John Wiley & Sons; 2003. P. 27-28.
12. Li D. Moving objects detection by block comparison. In: *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*. 2000. Vol. 1. P. 341-344.

13. Kuleshov S.V., Zaytseva A.A. Temporal analysis of H.264 codecs. *Izvestiya Vysishikh Uchebnykh Zavedenii. Priborostroenie = News of higher educational institutions. Instrument engineerin.* 2017;60(11):1092-1095. (In Russ.)
14. Kuleshov S.V. Hybrid codecs and their application in digital programmable data transmission channels. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Information-measuring and control systems.* 2012;10(5):41-45. (In Russ.)
15. Chen R.-X., Zhao W., Fan J., Davari A. Vector Bank Based Multimedia Codec System-on-a-Chip (SoC) Design. In: *2009 International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks.* 2009. P. 515-520. <https://doi.org/10.1109/I-SPAN.2009.74>.
16. Bratulin A.V., Nikiforov M.B., Belyakov P.V., Kholopov E.Y. Method for computing dense optical flow on FPGA in real time. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern information technologies and IT education.* 2019; 15(2):320-330. (In Russ.). <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.320-330>
17. Osipov V.Y., Kuleshov S.V., Zaytseva A.A., Surovtsev V.N., Achilov V.V. Analysis of the dynamics of the physiological state of productive cows based on video monitoring. *Selskokhozyaistvennaya Biologiya = Agricultural Biology.* 2024;59(6):1131-1144. (In Russ.). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.6.1131rus>.
18. Kuleshov S.V., Kvasnov A.V., Zaytseva A.A., Ronzhin A.L. An integrated approach to visual navigation by natural landmarks for UAVs operating in GNSS-denied conditions. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie Nauki = Izvestiya SFU. Technical sciences.* 2025;(2):269-278. (In Russ.)
19. Fakhrutdinov R.Sh., Mirin A.Y. Studying the possibility of using compressed video stream motion vectors for its identification. *Trudy Uchebnykh Zavedenii Svyazi = Proceedings of educational institutions of communication.* 2022; (8):57-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2022-8-1-57-64>.

Информация об авторах / Information about the Authors

Шальнев Илья Олегович, младший научный сотрудник лаборатории автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: shalnev.i@iias.spb.su, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9383-1089>

Аксенов Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: a_aksenov@iias.spb.su, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3365-0056>

Ilia O. Shalnev, Junior Researcher of laboratory for research automation, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: shalnev.i@iias.spb.su, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9383-1089>

Alexey Yu. Aksenov, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher of laboratory for research automation, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: a_aksenov@iias.spb.su, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3365-0056>