

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
COMPUTER SCIENCE

doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-493-499

УДК 004.9

**Метод повышения информационной ценности видеоданных
на основе фильтрации кадров и оценки энтропии**Артём Дмитриевич Обухов¹✉, Максим Сергеевич Николокин²^{1,2} Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, 392000, Российская Федерация¹ obuhov.art@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0002-3450-5213>² Ch1ppyone@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1648-0136>**Аннотация**

Введение. Применение современных систем видеонаблюдения сопряжено с решением задач мониторинга деятельности персонала и соблюдения технологического процесса на основе анализа и обработки больших объемов видеоданных. Это приводит к удорожанию хранилища информации, затратам временных ресурсов персонала на поиск ключевых событий на длительных временных отрезках. Рассмотрена задача повышения информационной ценности хранимых данных с камер видеонаблюдения на основе фильтрации кадров и оценки энтропии. **Метод.** Предложена реализация алгоритмов обработки и сжатия информации, направленных на снижение объема хранимых видеоданных. Применение данной реализации способствует повышению общей информационной ценности, эффективности работы систем видеонаблюдения за счет оптимизации объемов хранимой информации и увеличению соотношения полезной информации. Для повышения информационной ценности видеоданных предложен метод, включающий использование современных технологий сжатия видео, алгоритма фильтрации кадров и оценку обработанного видео по метрике энтропии Шеннона. **Основные результаты.** Выполнены анализ и сравнение существующих алгоритмов сжатия видеоданных. Проведен эксперимент, в результате которого доказана корреляция между высокими значениями энтропии и информационной ценностью кадра. Успешно апробирован алгоритм фильтрации кадров, позволивший повысить энтропию в 5,4 раза и сократить длительность видео в 8 раз. Использование методов сжатия видеоданных и эффективных кодеков, например, H.265/HEVC позволило уменьшить объем файла по сравнению с исходным в 14,57 раз. Рассмотрена апробация предложенного метода при решении задач фильтрации, передачи и хранения видеоданных для повышения информационной ценности видеоданных, производительности процессов анализа и поиска информации за счет снижения избыточных, малополезных фрагментов данных. **Обсуждение.** Преимущество представленного метода заключается в удалении избыточных кадров на основе анализа движения и оценки энтропии видеоданных, комбинации различных подходов по снижению объема передаваемой и хранимой информации. Применение метода позволит повысить эффективность хранения данных в различных системах видеонаблюдения (для логистических центров, складских комплексов, торговых помещений).

Ключевые слова

информационная энтропия, энтропия Шеннона, видеоданные, алгоритмы сжатия видео, хранение информации, системы видеонаблюдения

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для обучения, диагностики и реабилитации» (№ 122012100103-9).

Ссылка для цитирования: Обухов А.Д., Николокин М.С. Метод повышения информационной ценности видеоданных на основе фильтрации кадров и оценки энтропии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23, № 3. С. 493–499. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-493-499

Method for increasing the information value of video data based on the removal of redundant frames and entropy estimation

Artyom D. Obukhov¹, Maxim S. Nikolyukin²

^{1,2} Tambov State Technical University, Tambov, 392000, Russian Federation

¹ obuhov.art@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3450-5213>

² chlppyone@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1648-0136>

Abstract

The use of modern video surveillance systems is associated with solving the tasks of monitoring the activities of personnel and compliance with the technological process based on the analysis and processing of large amounts of video data. This leads to an increase in the cost of information storage, the cost of staff time resources to search for key events over long time periods. The problem of increasing the information value of stored data from video surveillance cameras based on frame filtering and entropy estimation is considered. The implementation of algorithms for processing and compressing information aimed at reducing the volume of stored video data is proposed. The use of this implementation contributes to increasing the overall information value, the efficiency of video surveillance systems by optimizing the volume of stored information and increasing the ratio of useful information. To increase the informational value of video data, a method is proposed that includes the use of modern video compression technologies, a frame filtering algorithm, and an evaluation of the processed video by the Shannon entropy metric. The analysis and comparison of existing video data compression algorithms are performed. An experiment was carried out, as a result of which the correlation between high entropy values and the information value of the frame was proved, the frame filtering algorithm was successfully tested, which allowed to increase entropy by 5.4 times and reduce the duration of the video by 8 times. The use of video data compression methods and efficient codecs, for example, H.265/HEVC, reduced the file size by 14.57 times compared to the original one. The approbation of the proposed method is considered when solving problems of filtering, transmitting, and storing of video data to increase the information value of video data, the productivity of the analysis and information retrieval processes by reducing redundant, useless data fragments. The advantage of the presented method is to remove redundant frames based on motion analysis and entropy estimation of video data, a combination of various approaches to reduce the volume of transmitted and stored information. The application of the method will increase the efficiency of data storage in various video surveillance systems (for logistics centers, warehouse complexes, retail premises).

Keywords

information entropy, Shannon entropy, video data, video compression algorithms, information storage, video surveillance systems

Acknowledgements

The article was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the project “Development of medical VR simulator systems for training, diagnosis and rehabilitation” (No. 122012100103-9).

For citation: Obukhov A.D., Nikolyukin M.S. Method for increasing the information value of video data based on the removal of redundant frames and entropy estimation. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 493–499 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-493-499

Введение

При реализации современных систем видеонаблюдения важными задачами являются мониторинг деятельности персонала и соблюдение технологического процесса [1]. Полученные файлы с камер видеонаблюдения могут быть разделены на фрагменты с указанием меток времени и даты, однако при круглосуточной записи объем хранимой информации неизбежно растет. Учитывая, что в определенное время суток активность персонала значительно падает, часть хранимой информации не несет высокой ценности. Необходимость анализа и обработки больших объемов данных неизбежно приводит к увеличению временных и материальных затрат.

В соответствии с теорией информации для оценки хранимых данных используется понятие информационного содержания или информации Шеннона — количественной оценки уровня «неожиданности» определенного результата, зависящей от вероятности некоторого конкретного события [2]. Информация Шеннона связана с понятием энтропия, которая представляет собой среднее количество информации о себе, которую на-

блюдатель ожидает получить о случайной величине при ее измерении. Таким образом, однородная информация, имеет малый уровень «неожиданности» и, следовательно, низкую энтропию [3]. Такой характеристикой может обладать длительное видео без существенных изменений, имеющее сходство со статистическим изображением.

С другой стороны, динамическое видео с множеством непредсказуемых событий фактически имеет больший уровень «неожиданности» и значение информационной энтропии. С точки зрения информационного содержания видеофайл, обладающий высокой энтропией, «ценнее» и «полезнее» для системы, так как содержит больше разнообразной информации.

В результате требуется решение задачи повышения информационной ценности видеоданных на основе оценки информационной энтропии хранимых видеоданных за счет разработки необходимых алгоритмов обработки информации. Решение позволит снизить объем «бесполезных» данных, не имеющих ценности ни в процессах управления или поддержки принятия решений, ни в задачах обработки и анализа данных.

Полученный результат может иметь высокую актуальность для областей, связанных с хранением и обработкой больших объемов видеоданных, к которым относятся логистические центры, складские комплексы, торговые помещения и др.

Многие системы наблюдения являются децентрализованными, особенно если организация имеет несколько объектов с централизованным управлением. В таком случае видеопоток, полученный на конкретном объекте, должен быть отправлен в центр обработки данных (ЦОД) для дальнейшего хранения, обработки, передачи и выдачи пользователям по запросу [4]. Вопрос эффективной передачи и хранения информации является актуальным, так как многие складские объекты, логистические центры и помещения могут быть удалены от ЦОД и используют услуги интернет-провайдера со слабым каналом передачи. При беспроводной передаче данных ограничения накладываются также и внешней средой (погода, посторонние сигналы и т. п.), которые могут прервать передачу данных в ЦОД.

Цель работы — разработка метода, направленного на минимизацию объема передаваемых данных и сокращения избыточной хранимой информации.

Использование методов сжатия для уменьшения размера файла

При передаче видеоданных по сети со слабым каналом или в условиях неблагоприятной внешней среды можно сократить объем информации, используя методы сжатия файлов. Данный подход позволит сократить время передачи данных по сети и нагрузку на канал. Существует множество методов и утилит, решающих данную задачу, среди наиболее распространенных отметим следующие: bzip2, LZMA2, Deflate, адаптивное арифметическое кодирование и др. [5].

Метод сжатия bzip2 основан на алгоритме Барроуза–Уилера. После получения потока данных метод сначала делит несжатые данные на блоки фиксированного размера, применяя к ним преобразование Барроуза–Уилера для превращения последовательностей многократно чередующихся символов в строки одинаковых символов. Затем применяется преобразование Move-To-Front и кодирование Хаффмана [6].

Цепной алгоритм Lempel–Ziv–Markov (LZMA) использует улучшенный алгоритм сжатия А. Лемпеля и Я. Зива 1977 года (LZ77), дополненный алгоритмом интервального кодирования, а также специальными процедурами для обработки двоичных файлов. Вторая версия алгоритма (LZMA2) получила ряд улучшений: поддержка многопоточности и хранение одновременно сжатых и несжатых данных для экономии бит [7].

Deflate — алгоритм сжатия без потерь и использует комбинацию алгоритмов LZ77 и Хаффмана. LZ77 заменяет повторные вхождения данных на ссылки, а кодирование Хаффмана — метод кодирования с переменной длиной, которая назначает более короткие коды к более часто повторяющимся символам [8].

Контекстно-адаптивное двоичное арифметическое кодирование (Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC) применяется в кодеке H.265/HEVC

для сжатия видеоданных [9]. Кодирование основано на технике сжатия без потерь для получения более высокой степени сжатия, чем большинство алгоритмов, которые доступны в кодировании видеоданных. При его применении сначала конвертируются все небинарные символы в бинарные, затем для каждого бита выбирается модель предсказания. Далее используется полученная от ближайших элементов информация для оптимизации степени возможности предсказаний. Арифметическое кодирование является финальным шагом сжатия данных.

В ходе сравнительного анализа эффективности кодирования основного профиля H.265 с кодеками H.264/MPEG-4, MPEG-4 ASP, H.263 HLP и H.262/MPEG-2 получено снижение битрейта на 35,4 %, 63,7 %, 65,1 % и 70,8 % соответственно при равных показателях пикового отношения сигнал-шум и субъективно одинаковом качестве [10]. Таким образом, для хранения больших объемов видеоданных в случае круглосуточного наблюдения использование методов bzip2, LZMA2, Deflate не является предпочтительным. Предложено применение кодака H.265/HEVC, основанного на кодировании CABAC, как более нового и эффективного метода сжатия видеоданных в качестве одного из инструментов повышения их информационной ценности.

Метод повышения информационной ценности видеоданных

Используя алгоритмы сжатия, можно добиться сокращения размера файла, но в большинстве случаев объем данных остается достаточно большим, особенно при хранении видеоархивов с камер наблюдения. В связи с этим, кроме использования различных технологий сжатия видео, в рамках предложенного метода повышения информационной ценности видеоданных необходимо реализовать алгоритм фильтрации избыточных кадров. Суть работы алгоритма заключается в извлечении из исходного видео кадров, на которых происходит какое-либо движение в большом объеме (для исключения реакции на шумы).

Рассмотрим шаги алгоритма фильтрации кадров предложенного метода.

Шаг 1. Из видеопотока захватывается i -й и $i + 1$ кадры. Осуществим вычитание одного кадра из другого, что позволит определить смещение объектов при условии неподвижности камеры.

Шаг 2. Разницу кадров переведем в серую градацию и для минимизации отслеживания шумов и лишних контуров применим размытие по Гауссу.

Шаг 3. Выполним фильтрацию кадра с помощью порогового значения. Если значение пиксела меньше порогового значения, оно устанавливается равным 0, в противном случае — равно максимальному значению (255). Это позволяет более четко сегментировать объекты.

Шаг 4. К кадру применим морфологический фильтр — операцию расширения, которая добавит некоторое количество пикселей к границам объектов на изображении, что позволит удалить небольшие разрывы и сгладить их.

Шаг 5. Проведем поиск массива контурных точек и их анализ. Если среди контуров обнаружен такой объект, площадь которого выше порогового значения, то его зафиксируем как объект наблюдения. Кадр отметим меткой «Движение» и сохраним в отдельный файл.

В результате выполнения шагов 1–5, после обработки видеоданных на выходе формируется отдельный видеофайл, состоящий из кадров, имеющих признаки движения объектов. Алгоритм может быть модифицирован для сохранения значительно удаленных по времени фрагментов с движением в разные файлы, что облегчит по ним навигацию.

Завершающий шаг предложенного метода — оценка информационной ценности кадра. В качестве метрики используем энтропию Шеннона, которую рассчитаем по следующей формуле для каждого кадра [11]:

$$E = - \sum_{k=0}^{255} (p_k \log(p_k)),$$

где p_k — вероятность пикселей со значением k .

Тогда в процессе обработки видео после выполнения шага 4 осуществим расчет энтропии для кадра и сохраним его. Для дальнейшего статистического анализа поставим в соответствие каждому кадру значения 0 или 1 (отсутствие или наличие метки «Движение») и суммарный размер области контуров на текущем кадре. Для расчета энтропии исходные кадры видео не использованы, чтобы не оценивать гистограммы распределения оттенков серого. В результате на сложном кадре с множеством объектов (именно таким и будет кадр с камеры наблюдения на складе) энтропия примет сравнительно одинаковые и высокие значения. Это не

позволит использовать энтропию, как некоторую объективную метрику, соответствующую «ценности» кадра, так как статичный кадр в рамках многочасового видео имеет низкую полезность.

Выполним тестирование предложенного метода. Проведем эксперимент на тестовом файле с камеры видеонаблюдения складского комплекса (кодек H.264/MPEG-4, разрешение 1920×1080 пикселей, битрейт 321 Кбит/с, 12 кадров/с) размером 223 МБ и длительностью 01:08:42. Пример работы алгоритма фильтрации на тестовом видео представлен на рис. 1. Рассмотрим промежуточные результаты обработки последовательности из четырех кадров, что позволит оценить, как предложенный подход для каждой пары соседних кадров преобразует исходные данные, применяет фильтры, выделяет контуры и в итоге рассчитывает энтропию. Анализ значений энтропии для исходного часового видео представлен на рис. 2. Заметны четко выраженные участки возрастания энтропии, соответствующие моментам движения на видео.

Построим корреляционную матрицу для проверки гипотезы о зависимости значения энтропии от наличия движения объектов в кадре. Проведем анализ взаимного влияния трех параметров: энтропии, наличия движения и размера области контуров (рис. 3). Наблюдается высокая корреляция между энтропией и размером области контуров, а также фактом перемещения объектов.

В итоге анализа видно, что метрика энтропии Шеннона при обработке кадров на шаге 4 предложенного метода может использоваться для оценки информационной ценности видео (которая прямо пропорциональна количеству движущихся объектов в кадре). Сравним полученные результаты (таблица).

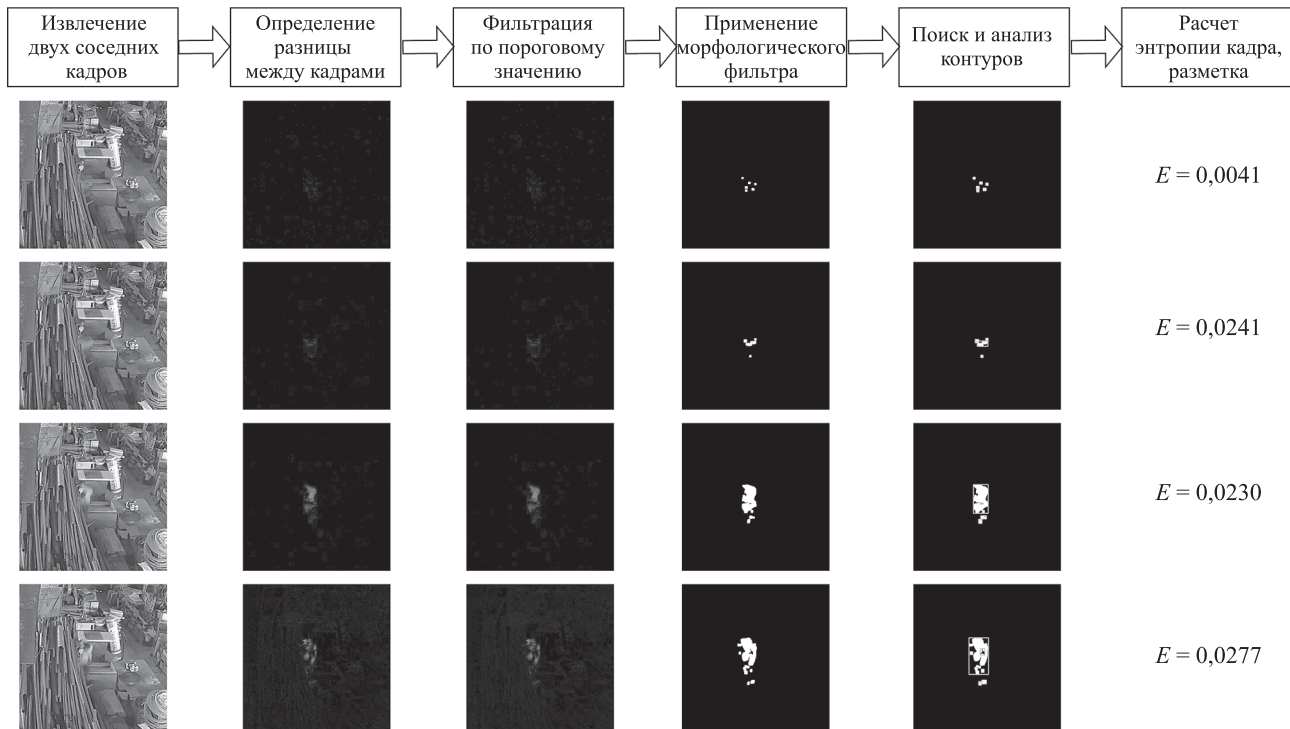


Рис. 1. Применение алгоритма фильтрации кадров и оценки энтропии

Fig. 1. Application of the frame filtering algorithm and entropy estimation

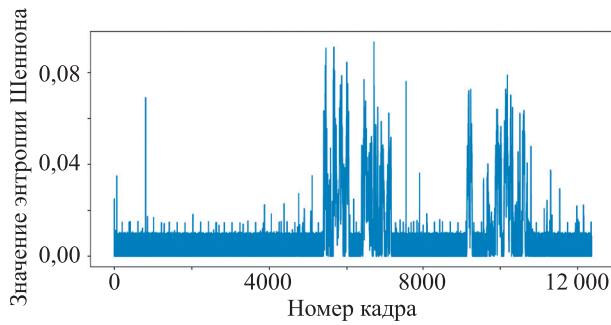


Рис. 2. Изменение значений энтропии на исходном видео
Fig. 2. Changing entropy values on the source video

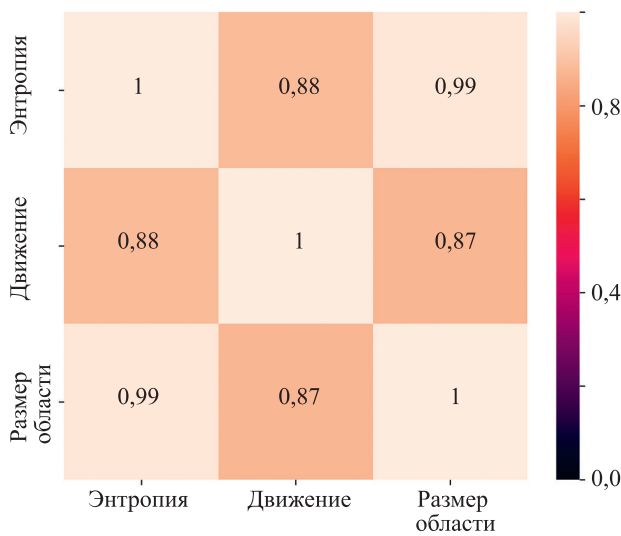


Рис. 3. Корреляционная матрица признаков
Fig. 3. Correlation matrix of features

Удаление избыточных кадров позволило значительно сократить объем хранимой информации. Применение кодека H.265/HEVC, основанного на САВАС, даже на исходном видео позволило умень-

Таблица. Сравнение исходного и фильтрованного видео
Table. Comparison of the source and filtered video

	Исходное видео	Фильтрованное видео
Количество кадров	12 364	1512
Средняя энтропия	0,00743	0,03997
Суммарная энтропия	91,925	60,443
Размер файла, МБ	223	15,3
Битрейт, Кбит/с	321	4404
Кодек	H.264/MPEG-4	H.265/HEVC

шить его размер до 86 МБ (при том же разрешении и битрейте 3,5 Мбит/с). Кодирование фильтрованного видео привело к итоговому размеру — 15,3 МБ.

В итоге, при сокращении длительности видео в 8 раз суммарная энтропия снизилась только в 1,5 раза. Средняя энтропия при этом возросла в 5,4 раза, откуда следует, что информационная ценность отфильтрованного видео возросла в 5,4 раза. Общий объем файла относительно исходного сокращен в 14,57 раз.

Практическое применение полученных результатов при организации хранения видеоданных

Рассмотрим интеграцию предложенного метода в ЦОД для решения задач фильтрации исходных видеоданных (рис. 4). Решением задачи будет обеспечение минимизации объема информации, повышение ее информационной ценности для систем видеонаблюдения в таких предметных областях, как складские комплексы, логистические центры, торговые помещения.

Осуществим получение исходного видеофайла и удаление из него избыточных кадров для повышения энтропии с использованием предложенного метода. После выполнения оценки энтропии осуществим кодировку файла с помощью кодека H.265/HEVC, обе-

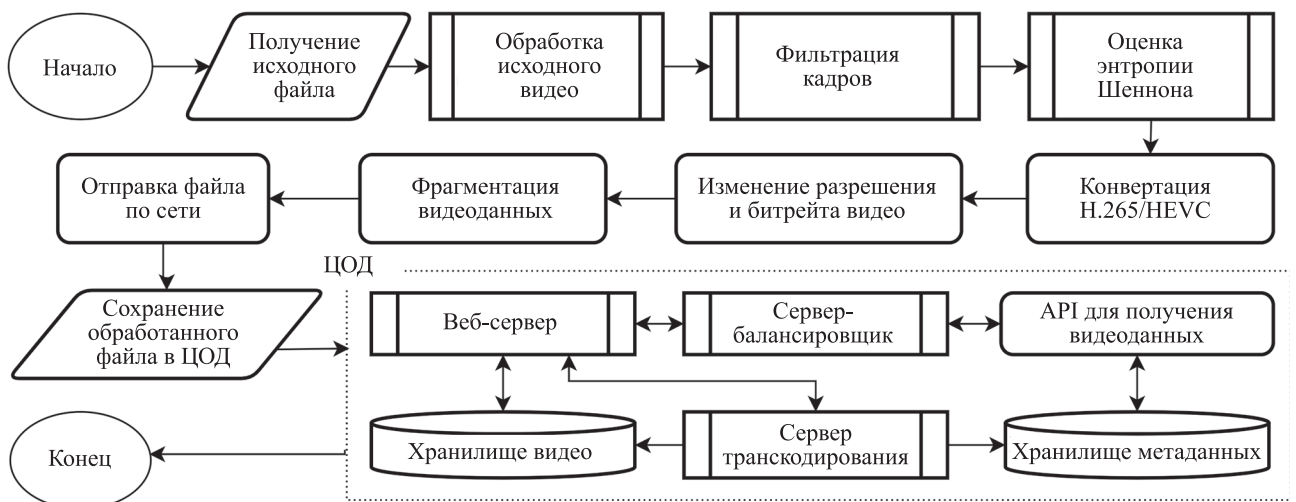


Рис. 4. Блок-схема алгоритма интеграции предложенного метода в центр обработки данных (ЦОД)
Fig. 4. Block diagram of the algorithm for integrating the proposed method into the data center

спечивающего наилучшие показатели по итоговому его размеру. Разрешение кадра и битрейт определим экспериментально в зависимости от поставленных целей: хранение, интеллектуальная обработка или применение алгоритмов распознавания объектов [12]. При необходимости исходное видео может быть фрагментировано на отдельные файлы в случае, если участки повышенной энтропии разделены значительными временными интервалами. Сжатый и обработанный видеофайлы (или несколько отдельных видео с указанием временных меток) передадим по сети в ЦОД.

Рассмотрим процедуры взаимодействия с ЦОД. Для получения данных клиент обращается к веб-серверу. В качестве клиента может выступать система управления складом или любая информационная система для обработки данных с камер видеонаблюдения. Для взаимодействия применим интерфейс программирования приложений (API), а для равномерного распределения запросов между API — сервер-балансировщик [13]. Сервер транскодирования используем для перекодирования или кодирования видео, которое преобразует исходное видео в требуемые форматы и разрешения для решения конкретных задач обработки данных или принятия решений [14]. Хранилище видео предназначено для хранения BLOB (Binary Large Object)-данных транскодированных видео. Хранилище метаданных используем для хранения всех метаданных видео, например, временных меток, размера, разрешения, формата и т. д. [15] и представляет собой табличную структуру, которая может быть реализована с использованием реляционной системой управления базой данных (СУБД), например PostgreSQL.

Литература

1. Синегубова С.В., Савельева Д.Г. Задачи, возникающие при разработке проекта системы видеонаблюдения для частного объекта охраны // Актуальные проблемы деятельности подразделений УИС: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1. 2020. С. 46–49.
2. Медведев Д.С. Гносеологические аспекты информации // Социально-гуманитарные знания. 2019. № 10. С. 47–50.
3. Егорова С.Ю., Смолина С.Г. Некоторые подходы к определению информационной энтропии // Что есть жизнь?: сборник статей университетской научной конференции студентов и преподавателей. 2021. С. 25–32.
4. Бородко А.В. Классификация центров обработки данных // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Т. 7. № 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2019-7-1-1-9>
5. Кожемякина А.А., Буторина Н.Б. Система сжатия информации с выбором оптимального алгоритма // Материалы VII Международной молодежной научной конференции «Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем». 2019. С. 202–210.
6. Qiao W., Fang Z., Chang M.-C.F., Cong J. An FPGA-based BWT accelerator for Bzip2 data compression // Proc. of the 2019 IEEE 27th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM). 2019. P. 96–99. <https://doi.org/10.1109/fccm.2019.00023>
7. Görne L., Reuss H.-C., Sauerwald R. Enhancing ground truth for digital twins by complete and real-time upload of vehicle signals // 22. Internationales Stuttgarter Symposium. Proceedings. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. P. 322–333. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37009-1_23

Заключение

Рассмотрен вопрос оптимизации хранилища видеоданных с камер наблюдения для повышения информационной ценности. Круглосуточная запись приводит к значительным временным потерям при поиске нужных фрагментов видео, а также удорожает их хранение. С учетом, что информационная ценность таких длительных видео может быть незначительной, а интерес для пользователей, работающих с ними, могут представлять только отдельные фрагменты, задача оценки и фильтрации исходных видеофайлов является актуальной.

Предложено использование различных подходов для сжатия видеоданных, а также метод фильтрации кадров, включающий оценку информационной энтропии. В ходе экспериментальных исследований определен оптимальный вариант видеокодека, подтверждена гипотеза о зависимости между наличием движения в кадре (и, следовательно, высокой информационной ценности) и энтропией Шеннона, рассчитанной для обработанной разницы между соседними кадрами. Проведенные испытания показали возможность повышения энтропии после фильтрации избыточных (статичных) кадров до 5,4 раза и снижение объема хранимой информации до 8 раз. Применение алгоритмов сжатия позволило снизить размер итогового файла в 14,57 раз.

Рассмотренные подходы были апробированы для решения задач фильтрации, передачи и хранения видеоданных, повышения информационной ценности видеоданных, производительности процессов анализа и поиска информации за счет снижения избыточных, мало полезных фрагментов данных.

References

1. Sinegubova S.V., Saveleva D.G. Tasks that arise when developing a video surveillance system project for a private protected site. *Actual problems of the penal system units: collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. V. 1*, 2020, pp. 46–49. (in Russian)
2. Medvedev D.S. Gnoseological aspects of information. *Social and humanitarian knowledge*, 2019, no. 10, pp. 47–50. (in Russian)
3. Egorova S.Yu., Smolina S.G. Some approaches to determining the entropy level. *What is Life?: Collection of articles from the University Scientific Conference of Students and Teachers*, 2021, pp. 25–32. (in Russian)
4. Borodko A. Classification of data centers. *Telecom IT*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 1–9. (in Russian). <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2019-7-1-1-9>.
5. Kozhemiakina A.A., Butorina N.B. Information compression system with the choice of the optimal algorithm. *Proc. of the VII International Youth Scientific Conference “Mathematical and software support for information, engineering and economic systems”*, 2019, pp. 202–210. (in Russian)
6. Qiao W., Fang Z., Chang M.-C.F., Cong J. An FPGA-based BWT accelerator for Bzip2 data compression. *Proc. of the 2019 IEEE 27th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM)*, 2019, pp. 96–99. <https://doi.org/10.1109/fccm.2019.00023>
7. Görne L., Reuss H.-C., Sauerwald R. Enhancing ground truth for digital twins by complete and real-time upload of vehicle signals. 22. *Internationales Stuttgarter Symposium. Proceedings. Wiesbaden, Springer Vieweg*, 2022, pp. 322–333. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37009-1_23

8. Tayyeh H.K., Al-Jumaili A.S.A. A combination of least significant bit and deflate compression for image steganography // *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2022. V. 12. N 1. P. 358–364. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i1.pp358-364>
9. Chen Z., Pan X. An optimized rate control for low-delay H.265/HEVC // *IEEE Transactions on Image Processing*. 2019. V. 28. N 9. P. 4541–4552. <https://doi.org/10.1109/tip.2019.2911180>
10. Ohm J.R., Sullivan G.J., Schwarz H., Tan T.K., Wiegand T. Comparison of the coding efficiency of video coding standards—including high efficiency video coding (HEVC) // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2012. V. 22. N 12. P. 1669–1684. <https://doi.org/10.1109/tcsvt.2012.2221192>
11. Тимошенко А.В., Кошкарлов А.С. Сравнительный анализ энтропийных метрик информативности оптических изображений космических объектов // *Труды МАИ*. 2020. № 112. С. 10. <https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-10>
12. Ibrahim S.K., Khamiss N.N. A new video transcoding for future wireless communication system // *Proc. of the 2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*. 2019. P. 544–548. <https://doi.org/10.1109/iceei47359.2019.8988900>
13. Hao Q., Qin L. The design of intelligent transportation video processing system in big data environment // *IEEE Access*. 2020. V. 8. P. 13769–13780. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2964314>
14. Бекболатова Ж.Б. Вопросы организации хранения и перемещения массивов видеоданных // *Kazakhstan Science Journal*. 2019. Т. 2. № 8(9). С. 5–14.
15. Nikbakht R., Kahvazadeh S., Mangues-Bafalluy J. Video on demand streaming using RL-based edge caching in 5G networks // *Proc. of the 2022 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*. 2022. P. 208. <https://doi.org/10.1109/CSCN57023.2022.10051020>
8. Tayyeh H.K., Al-Jumaili A.S.A. A combination of least significant bit and deflate compression for image steganography. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 358–364. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i1.pp358-364>
9. Chen Z., Pan X. An optimized rate control for low-delay H.265/HEVC. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2019, vol. 28, no. 9, pp. 4541–4552. <https://doi.org/10.1109/tip.2019.2911180>
10. Ohm J.R., Sullivan G.J., Schwarz H., Tan T.K., Wiegand T. Comparison of the coding efficiency of video coding standards—including high efficiency video coding (HEVC). *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, vol. 22, no. 12, pp. 1669–1684. <https://doi.org/10.1109/tcsvt.2012.2221192>
11. Timoshenko A., Koshkarov A. Comparative analysis of entropic metrics of space objects optical images informativity. *Trudy MAI*, 2020, no. 112, pp. 10. (in Russian). <https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-10>
12. Ibrahim S.K., Khamiss N.N. A new video transcoding for future wireless communication system. *Proc. of the 2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 2019, pp. 544–548. <https://doi.org/10.1109/iceei47359.2019.8988900>
13. Hao Q., Qin L. The design of intelligent transportation video processing system in big data environment. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 13769–13780. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2964314>
14. Bekbolatova Z.B. Questions of the organization of the storage and transfer of arrays of video data. *Kazakhstan Science Journal*, 2019, vol. 2, no. 8(9), pp. 5–14. (in Russian)
15. Nikbakht R., Kahvazadeh S., Mangues-Bafalluy J. Video on demand streaming using RL-based edge caching in 5G networks. *Proc. of the 2022 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*, 2022, pp. 208. <https://doi.org/10.1109/CSCN57023.2022.10051020>

Авторы

Обухов Артём Дмитриевич — доктор технических наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, 392000, Российская Федерация, [sc 56104232400](https://orcid.org/0000-0002-3450-5213), <https://orcid.org/0000-0002-3450-5213>, obuhov.art@gmail.com

Николюкин Максим Сергеевич — аспирант, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, 392000, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-1648-0136>, Ch1ppyone@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.01.2023
Одобрена после рецензирования 05.03.2023
Принята к печати 16.05.2023

Authors

Artyom D. Obukhov — D.Sc., Associate Professor, Tambov State Technical University, Tambov, 392000, Russian Federation, [sc 56104232400](https://orcid.org/0000-0002-3450-5213), <https://orcid.org/0000-0002-3450-5213>, obuhov.art@gmail.com

Maxim S. Nikoluykin — PhD Student, Tambov State Technical University, Tambov, 392000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1648-0136>, ch1ppyone@mail.ru

Received 17.01.2023
Approved after reviewing 05.03.2023
Accepted 16.05.2023



Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»