

14. Bolgova, E. V. O sobstvennykh chislakh subintervalnykh matrits kosinusnogo preobrazovaniya [About the eigenvalues of cosine transform subinterval matrices]. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika* [Belgorod State University Scientific Bulletin. Series. Economics Information Technologies], 2017, no. 2 (251), pp. 92–101.

15. *Dokumentatsiya MATLAB* [MATLAB Documentation]. Available at: <https://docs.exponenta.ru/R2019b/matlab/functionlist.html> (accessed 26.04.2021).

DOI 10.21672/2074-1707.2021.55.3.025-032

УДК 004.051

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ ВИДЕОФАЙЛОВ ФОРМАТОВ AVI И MP4

Статья поступила в редакцию 22.07.2021, в окончательном варианте – 29.07.2021.

Гераськин Алексей Сергеевич, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 410012, Российская Федерация, г. Саратов, ул. Астраханская, 83,

кандидат педагогических наук, доцент кафедры теоретических основ компьютерной безопасности и криптографии, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3118-1022>, e-mail: gerascinas@mail.ru

Уколов Родион Владимирович, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 410012, Российская Федерация, г. Саратов, ул. Астраханская, 83,

аспирант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1856-3541>, e-mail: trustgreen1@mail.ru

В современном мире видеофайлы занимают особую роль. Развитие алгоритмов сжатия видеoinформации и рост возможностей сети Интернет позволяет передавать видеофайлы. При передаче видеофайлов неизбежно возникают повреждения. Соответственно возникает вопрос о восстановлении поврежденного файла и получении информации из него. В статье рассматриваются наиболее часто используемые видеофайлы расширений AVI, MP4. В результате исследования было выявлено, что наиболее часто встречаются повреждения в заголовках, что приводит к ошибкам при открытии файлов проигрывателями, менее часто повреждаются данные. Повреждение данных приводит к тому, что некоторый фрагмент видеофайла либо проигрывается с ошибками, искажениями, либо пропускается. В статье рассматривается возможность восстановления повреждения видеофайла с помощью изъятия неискаженных данных и предлагается алгоритм анализа кадров с помощью нейронной сети. В рамках алгоритма нейронная сеть применяется для определения поврежденных кадров в видеоданных. Алгоритм был реализован в виде программного продукта. Для первого этапа проверки эффективности алгоритма производились умышленные искажения одного кадра для каждого исследуемого видеофайла. В результате экспериментальной проверки разработанного алгоритма было выявлено, что он обеспечивающий высокую точность обнаружения искаженных последовательностей кадров.

Ключевые слова: нейронная сеть, область данных видеофайла, повреждение видеофайла, расширение AVI, расширение MP4, алгоритм восстановления

RESEARCH ON APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR RESTORING DAMAGED VIDEO FILES OF AVI AND MP4 FORMATS

The article was received by the editorial board on 22.07.2021, in the final version – 29.07.2021.

Geraskin Aleksey S., Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov, 410012, Russian Federation,

Cand. Sci. (Pedagogics), Associate Professor of the Department of Computer Security and Cryptography Theory, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3118-1022>, e-mail: gerascinas@mail.ru

Ukolov Rodion V., Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov, 410012, Russian Federation,

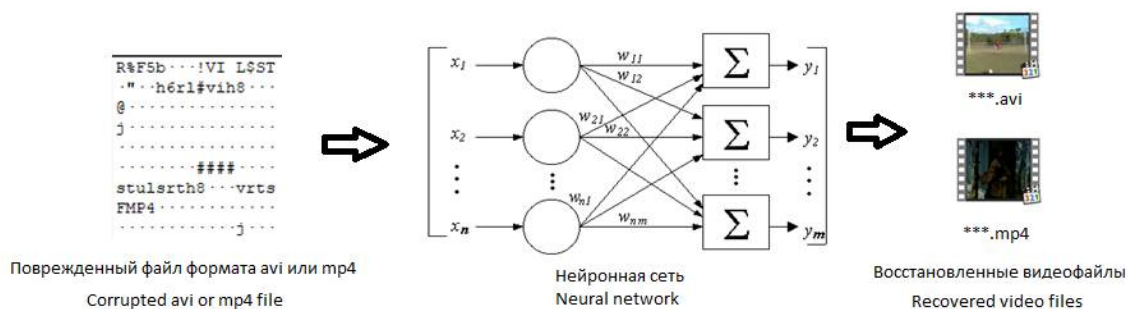
post-graduate student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1856-3541>, e-mail: trustgreen1@mail.ru

In the modern world, video files play a special role. The development of video compression algorithms and the growth of the Internet's capabilities make it possible to transfer video files. Damage inevitably occurs when transferring video files. Accordingly, the question arises about restoring a damaged file and obtaining information from it. The article discusses the most commonly used video file extensions AVI, MP4. As a result of the study, it was revealed that the most common damage is in the headers, which leads to errors when opening files by players, data is damaged less often. Data corruption leads to the fact that a certain fragment of the video file is either played with errors, distortions, or is skipped. The article discusses the possibility of recovering damaged video file using the

removal of undistorted data and proposes an algorithm for analyzing frames using a neural network. As part of the algorithm, a neural network is used to identify damaged frames in video data. The algorithm was implemented as a software product. For the first stage of checking the efficiency of the algorithm, deliberate distortions of one frame were made for each video file under study. As a result of experimental verification of the developed algorithm, it was revealed that it provides high accuracy in detecting distorted frame sequences.

Keywords: neural network, editing, data area of the video file, pasting into the video file, gluing the video file, clipping from the video file

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. С развитием технологий цифровое представление информации является наиболее распространенным. Такое представление информации позволяет ее передавать на большие расстояния с помощью сети Интернет. С развитием технологий передачи информации и роста скорости обмена в сети Интернет видеoinформация приобретает всё большую значимость. В настоящее время невозможно представить какого-либо продукта, рассчитанного на массового потребителя, без возможности записывать и/или воспроизводить видеофайлы [1]. При этом существуют проблемы, связанные с неумышленным, а также умышленным повреждением видеофайлов [2, 3].

Дефекты могут находиться как в заголовках, так и в самих данных. Повреждения в заголовках зачастую делают невозможным открытие файлов проигрывателями. Дефекты в данных реже приводят к невозможности открытия файла, чаще оказывается, что некоторый фрагмент видеофайла либо проигрывается с ошибками, искажениями, либо пропускается [4].

Повреждения заголовков могут быть исправлены с помощью анализа видеофайла целиком, переопределением параметров [5], переиндексированием блоков данных [6], однако дефекты в данных зачастую незаметны для проигрывателей, но существенны для пользователя. Таким образом, в данной работе предлагается использование нейронной сети для определения искажений и повреждений в видеоданных.

Целью исследования является обнаружение и исправление повреждений видеофайлов расширений AVI, MP4 с помощью нейронной сети.

Причины повреждения и техники восстановления. Одной из основных причин того, что видеофайл не воспроизводится проигрывателем, является полное или частичное отсутствие метаданных в контейнере. Повреждение часто возникает в следующих случаях:

- при передаче видеофайла, если процесс завершился некорректно [4];
- при некорректном изменении формата файла;
- при архивировании файла [7, 8];
- при использовании приложений для восстановления файлов [9];
- при попытке воспроизведения файла проигрывателями, не поддерживающими данный формат.

Часто при восстановлении видеофайлов может потребоваться не поврежденный видеофайл, записанный на том же устройстве с теми же настройками, благодаря которому можно получить полезную информацию: описание кадров, смещение каждого блока.

Одним из способов восстановления является отделение аудио- и видеoinформации файла и добавление нового заголовка, после чего осуществляется создание нового видеофайла. Данный метод неосуществим для многих форматов.

Вторым способом является переиндексация, при которой из поврежденного видеофайла покадрово перезаписывается информация в новый видеофайл, при этом каждый кадр регистрируется как новый фрейм. После чего перезаписываются индексы.

Сложность данного метода состоит в идентификации видеокадров. Как правило, начало кадра легко найти по определенной комбинации символов. Конец кадра можно идентифицировать, если все кадры имеют равную длину или размещены подряд, но, к примеру, в формате MP4 аудио- и видеоданные перемежаются, а отделить аудиоданные довольно сложная задача.

Конец кадра, как говорилось выше, зачастую сложно найти, в этом случае можно воспользоваться видеодекодером. Для каждого кадра декодер определяет, где он заканчивается. Основная проблема этого способа – сложность реализации, также метод имеет свои минусы:

- требуется свободно распространяемый декодер;
- кадры не могут быть декодированы поодиночке;
- нужна интеграция декодера с приложением.

Видеоданные MP4-файла часто сжаты стандартами H.264 и MPEG4. Сложность восстановления видеофайла, сжатого по стандарту MPEG4, зависит от типа аудиоданных, находящихся в контейнере. Видеокодек использует пространственное и временное сжатие с ключевыми кадрами. Каждый видеокадр начинается с последовательности “B6000001”, но для обнаружения конца кадра нет никакой ключевой последовательности. Если видеоданные чередуются с аудиоданными, которые сложно идентифицировать, задача усложняется.

Данные, сжатые по стандарту H.264, сложно восстановить из-за универсальности стандарта, его легко конфигурировать для определенных целей, при этом он практически не предоставляет шаблонов для сжатия данных. Для восстановления файла, сжатого по H.264, часто необходимо иметь неповрежденный файл, с данными, закодированными аналогично. Ещё одна сложность – один блок может быть полноценным фрагментом, то есть содержать более одного кадра.

Структура форматов AVI и MP4. Для рассмотрения возможных повреждений форматов AVI и MP4 рассмотрим их внутреннее строение. Определим основные блоки формата AVI. Метаданные для каждого потока как аудио, так и видео хранятся в блоках 'hdrl', где параметр fccType определяет тип данных потока. 'vids' – указывает, что поток содержит видеоданные. 'auds' – указывает, что поток содержит аудиоданные [10].

Данные хранятся в блоке (атоме) 'movi'. Каждый кадр информации определяется с помощью сигнатуры '###cc', где '###' – номер порядка потока, который зависит от порядка описания в блоке 'hdrl', нумерация начинается с нуля, а 'cc' – двухсимвольный код, определяющий тип данных, лежащих в данном кадре. Код 'wb' означает, что данный кадр является аудио кадром, код 'db' – несжатый DIB-видеофрагмента, код 'dc' – сжатый. После сигнатуры идет 4-й байтовое целочисленное неотрицательное число – размер кадра в байтах. Далее лежит сам кадр.

'01wb' в данном случае означает, что это второй, по описанию в метаданных, поток и он имеет аудио-тип. Четыре байта, идущих после сигнатуры '01wb' отвечают за размерность этого кадра.

Важно понимать, что порядок байт в файлах формата AVI установлен Little-endian [10].

При повреждении имени заголовков RIFF, AVI полоса прокрутки видеофайла, а также звук являются неактивной в любых известных медиа проигрывателях. При нарушении целостности имени заголовка LIST, видео не может быть воспроизведено. При повреждении имен заголовков hdrl, avih, strl видео воспроизводится корректно.

При нарушении целостности заголовков strh, strf перестает воспроизводиться поврежденный поток, при этом искажаются и остальные потоки.

Рассмотрим строение формата MP4. В данном формате все видеоданные хранятся в атоме 'mdat', без привязки к порядку следования [11].

В метаданные для каждого потока, не важно, видео или аудио, инкапсулированы атомы 'stsz' и 'stco', логическая структура которых напоминает таблицу.

В атомах 'stsz' хранятся размерности каждого кадра. Атом имеет два параметра, которые имеют четырехбайтовое целочисленное неотрицательное представление. Если все кадры в потоке одной и той же длины, первый параметр, SampleSize, указывает размерность всех кадров, иначе данный параметр установлен в 0. Следующий параметр, SampleCount, указывает количество кадров в потоке. Далее, если SampleSize = 0, следует SampleCount записей, идущих подряд, каждая последующая запись определяет размерность соответствующего кадра. Если SampleSize равен 0, то кадры имеют разную размерность.

В атомах 'stco' хранятся смещения (местонахождение) для каждого кадра. Атом имеет один параметр – SampleCount – количество кадров в потоке. Далее следуют SampleCount записей, указывающих смещение кадра относительно начала файла в байтах [12].

Важно понимать, что для каждого отдельно взятого потока значения параметров SampleCount для обоих атомов должны быть равными. Байты в формате mp4 имеют порядок Big-endian.

Зная параметры вышерассмотренных атомов, можно найти все кадры исследуемого потока. Однако стоит отметить, что данный способ хранения фрагментов данных присущ не для всех кодеков, используемых в формате mp4.

При повреждении имен заголовков ftyp, mvhd файл формата MP4 некорректно воспроизводится. При нарушении целостности заголовка контейнера moov, медиа проигрыватели выдавали ошибку воспроизведения. При повреждении заголовков trak и его податомов соответствующие потоки перестают воспроизводиться или некорректно проигрываются.

Алгоритм анализа кадров нейронной сетью. В данной работе предлагается рассмотреть алгоритм восстановления с помощью изъятия неискаженных данных из видеофайла. Для этого необходимо определить поврежденные кадры в видеоданных. Определение поврежденных кадров производится с помощью нейронной сети, архитектура которой наиболее изучена и является простой в реализации.

В представленной работе основная цель – определить возможность и эффективность использования нейронных сетей для рассматриваемой проблемы. Исходя из данных критериев были выбраны следующие параметры нейронной сети:

- однослойный перцептрон [13];
- логистическая функция с параметром $a = 1$ в качестве активационной функции;
- обучение с учителем;
- метод обратного распространения ошибки [14].

Алгоритм анализа кадров нейронной сетью представляется следующим образом:

1. Пусть количество кадров N .
2. prob_list – массив вероятностей искаженности кадра.
3. Цикл по i от 1 до $N-4$.
- 3.1. Цикл по j от i до $i+3$.
- 3.1.1. Высчитывается разница каждого пикселя в отдельности для кадров с номерами j и $j+1$.
- 3.1.2. Список разностей пикселей делится на 10 равных частей (секторов).
- 3.1.3. В каждом секторе выбирается среднее значение.
- 3.2. Получившиеся 40 секторов попадают на вход нейронной сети.
- 3.3. На выходе нейронной сети выбирается среднее значение и записывается в массив prob_list;
4. Выводится график значений массива prob_list.

Результаты исследований и их обсуждение. Был создан программный продукт [15], реализующий предложенный алгоритм анализа и восстановления, и проведены тесты на его эффективность представленной. Для первого этапа проверки эффективности алгоритма производились умышленные искажения одного кадра для каждого исследуемого видеофайла. Данные, проанализированные необученной сетью, определяют с близкой к 0,5 вероятностью поврежденности для каждого (рис. 1).

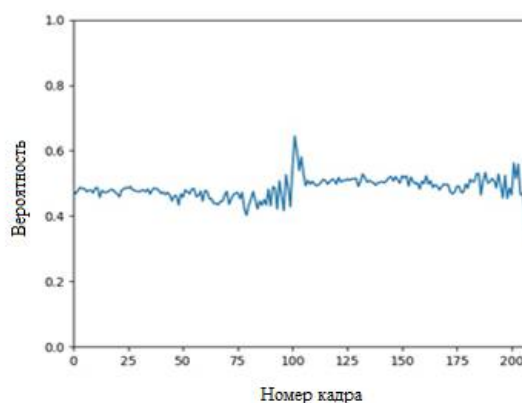


Рисунок 1 – Пример вывода графика вероятностей при необученной сети

После 40 циклов обучения нейронной сети график вероятностей понижается в среднем вдвое (рис. 2).

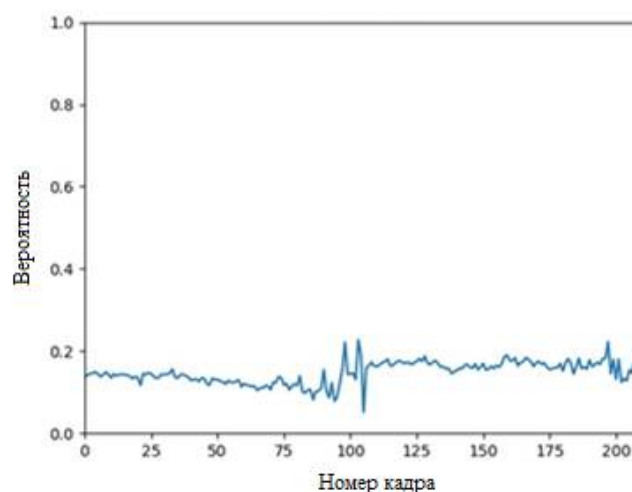


Рисунок 2 – Вывод графика вероятностей после 40 циклов обучения

Было проведено дополнительно 60 циклов обучения, после чего график вероятностей приблизился к 0 для неискаженных данных.

Далее производилось умышленное искажение кадра с номером 100 (рис. 3).

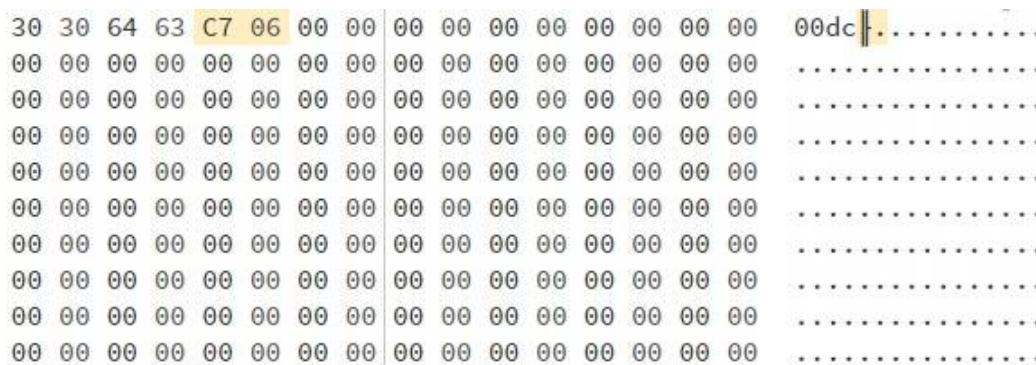


Рисунок 3 – Умышленное затирание кадра с номером 100

Вывод графика вероятностей после анализа видеофайла с испорченным 100-тым кадром представлен на рисунке 4.

Видно, что с 97 по 100 значения заметно выше остальных, что обусловливается алгоритмом анализа видеофайлов. Кадр с номером 100 анализируется на шагах с 97 по 100. Таким образом, находится искаженный кадр. При искажении кадров с 100 по 102 значения с 97 по 102 выше по сравнению с остальными (рис. 5).

Наблюдается спад вероятности на значениях с номерами 99 и 100, так как на этих шагах все три нулевые кадры одновременно попадают на вход нейронной сети. При четырех и более одинаковых кадров наблюдается спад вероятностей до обычных значений. После окончания анализа создается новый видеофайл, при этом испорченные кадры заменяются на ближайшие к ним неискаженные.

Эффективность метода была рассчитана из количества верно найденных искаженных кадров или последовательностей, деленных на количество проведенных экспериментов. Количество экспериментов с поврежденными кадрами – 90. При этом 83 раза нейронная сеть верно определяла место повреждения. Тогда точность алгоритма – 92 %.

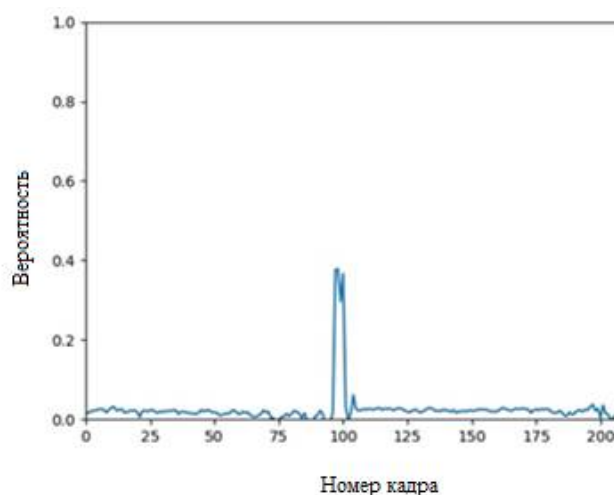


Рисунок 4 – График вероятностей при испорченном 100-м кадре

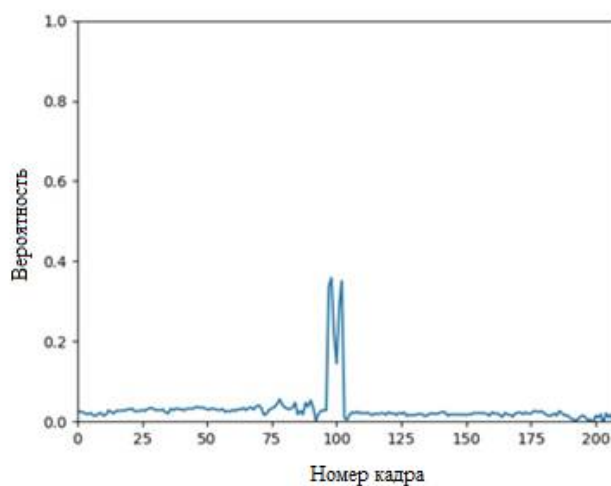


Рисунок 5 – График вероятностей при испорченных с 100 по 102 кадры

Следующий этап проверки заключался в искажении нескольких последовательно идущих кадров видеофайла. Так же, как и на предыдущем этапе проверки, замечено увеличение значений, соответствующих искаженным кадрам. Следует добавить, что при искажении кадров некоторыми случайно сгенерированными пикселями (шумами), эффективность алгоритма немного выше (в целом, на 5 %). При затирании кадров оригинального видеофайла кадрами, несущими некоторую информацию (неслучайное распределение пикселей), похожими друг на друга и идущими более трех подряд, алгоритм определяет зачастую лишь начало и конец фрагмента, в котором они находятся.

Улучшение алгоритма увеличением количества одновременно рассматриваемых подряд идущих кадров (пункт алгоритма 3.1 – увеличить $i+3$ до необходимого значения), однако это сильно скажется на скорости работы программы.

Эффективность метода была рассчитана из количества верно найденных искаженных кадров или последовательностей, деленных на количество проведенных экспериментов. Количество экспериментов с поврежденными кадрами – 90. При этом 83 раза нейронная сеть верно определяла место повреждения. Тогда точность алгоритма – 92 %. Экспериментов с неповрежденными видеоданными – 120. Из них три раза нейронная сеть определяла один кадр как искаженный. После данных случаев, коэффициент, устанавливающий минимальное значение для определения поврежденности кадра, был повышен до 0,12.

Таким образом, можно выделить сильные и слабые стороны алгоритма.

Плюсы подхода:

- большая точность обнаружения искаженных кадров или поврежденных последовательностей кадров длиной не более четырех;

- нахождение неисправных последовательностей кадров длиной более четырех, при этом возможно улучшение метода вторым проходом нейронной сети с большим количеством секторов (большим количеством рассматриваемых на каждом шаге кадров);

- дополнительно: успешный поиск 25-х кадров, встроенных в видеоданные, которые отличаются от соседних кадров;

- возможность дальнейшего улучшения алгоритма методами поиска ЦВЗ в кадрах.

Минусы подхода:

- точность метода никогда не достигнет отметки 100 % (особенности нейронного поиска);
- зависимость алгоритма от коэффициента, устанавливающего минимальное значение для определения поврежденности кадра;

- не исключены ложные срабатывания алгоритма.

Заключение. Предложен метод нахождения поврежденных кадров видеоданных с использованием нейронной сети, обеспечивающий высокую точность обнаружения искаженных последовательностей кадров длиной не более четырех, существуют возможности усиления алгоритма увеличением количества последовательно идущих рассматриваемых кадров и внедрением методов поиска ЦВЗ. Однако данный подход имеет минусы: точность никогда не достигнет отметки 100 %, зависимость от коэффициента, устанавливающего минимальное значение для определения поврежденности кадра. Также не исключены ложные срабатывания алгоритма. Нейронная сеть была обучена на изначально подготовленной выборке. В ходе экспериментов с файлами с поврежденными кадрами нейронная сеть верно определяла место повреждения в 92 % случаях (83 из 90 раз). На неповрежденных данных сеть три раза из ста двадцати определяла один кадр как искаженный. После чего коэффициент, устанавливающий минимальное значение для определения поврежденности кадра, был повышен до 0,12, в результате чего ложные срабатывания прекратились.

Библиографический список

1. Moghavvemi, S. Social media as a complementary learning tool for teaching and learning: The case of youtube / S. Moghavvemi, A. Sulaiman, N. I. Jaafar & N. Kasem // The International Journal of Management Education. – 2018. – № 1 (16). – P. 37–42.
2. Малыхина, Н. И. Алгоритм действий следователя в типовых ситуациях расследования мошенничеств, совершенных с использованием сети Интернет / Н. И. Малыхина, С. В. Кузьмина // Вестник Томского государственного университета. – 2021. – № 462. – С. 238–247.
3. Lee, W. Y. Automatic reconstruction of deleted AVI video files composed of scattered and corrupted fragments / W. Y. Lee, K. H. Kim, H. Yang, Y. W. Ko // Multimedia Tools and Applications. – 2020. – № 37 (79). – P. 28355–28367.
4. Liu, Y. Using Redundancy to Repair Video Damaged by Network Data Loss / Y. Liu, M. Claypool // ACM/SPIE Multimedia Computing and Networking (MMCN). – San Jose, California, USA, January 25–27. – 2000. – Vol. 3969 – P. 73–84.
5. Ahmed, M. Key frame extraction and indexing for multimedia databases / M. Ahmed, A. Karmouch, S. Abu-Hakima // Vision Interface. – 1999. – Vol. 99. – P. 1–1.
6. Shruthi, N. Dominant frame extraction for video indexing / N. Shruthi, S. Priyamvada // 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). – IEEE. – 2017. – P. 1799–1803.
7. Зубков, А. Ю. Выбор методов идентификации кластеров при восстановлении фрагментированных файлов / А. Ю. Зубков // Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского. – 2017. – С. 377–378.
8. Шагун, А. А. Восстановление информации поврежденных архивов / А. А. Шагун, А. В. Баранов, А. М. Кадан // Технологии информатизации и управления : сб. науч. ст. – Минск, 2011. – Вып. 2. – С. 95–98.
9. Hu, P. Computer Testing and Maintenance and Data Recovery Technology / P. Hu // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – № 2 (1648). – P. 022198.
10. Dianwu, X. U. Study on AVI file format and its application [J] / X. U. Dianwu // Modern Electronics Technique. – 2008. – Vol. 2. – P. 119–122.
11. Amon, P. File format for scalable video coding / P. Amon, T. Rathgen, D. Singer // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2007. – № 9 (17). – P. 1174–1185.
12. Ningsih, P. A. S. L. E. Mp4 video steganography using least significant bit (lsb) substitution and advanced encryption standard (AES) / P. A. S. L. E. Ningsih, G. M. A. Sasmita, N. M. I. M. Mandenni // Journal of Theoretical & Applied Information Technology. – 2017. – № 21 (95). – P. 5805–5814.
13. Седых, И. А. Обучение нейронных сетей на кластеризованных данных / И. А. Седых, Д. Ю. Соколовских // II Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2017. – № 4 – С. 16–21.
14. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль. – Москва : ДМК-Пресс, 2018. – 652 с.
15. Уколов, Р. В. Программа для анализа видеофайлов на предмет наличия повреждений : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, рег. № 2019615359 от 24.05.2019 / Р. В. Уколов. – Москва : Роспатент, 2019.

References

1. Moghavvemi, S., Sulaiman, A., Jaafar, N. I., & Kasem, N. Social media as a complementary learning tool for teaching and learning: The case of youtube. *The International Journal of Management Education*, 2018, no. 16 (1), pp. 37–42.
2. Malykhina, N. I., Kuzmina, S. V. Algoritm deystviy sledovatelya v tipovykh situatsiyakh rassledovaniya mo-shennichestv, sovershennykh s ispolzovaniem seti Internet [Algorithm of the investigator's actions in typical situa-tions of investigating frauds committed using the Internet]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Bulletin], 2021, no. 462, pp. 238–247.
3. Lee, W. Y., Kim, K. H., Yang, H., & Ko, Y. W. Automatic reconstruction of deleted AVI video files com-posed of scattered and corrupted fragments. *Multimedia Tools and Applications*, 2020, no. 79 (37), pp. 28355–28367.
4. Liu, Y., Claypool M. Using Redundancy to Repair Video Damaged by Network Data Loss. *ACM/SPIE Mul-timedia Computing and Networking (MMCN)*. San Jose, California, USA, January 25–27, 2000, vol. 3969, pp. 73–84.
5. Ahmed, M., Karmouch, A., & Abu-Hakima, S. Key frame extraction and indexing for multimedia databases. *Vision Interface*, 1999, vol. 99, pp. 1–1.
6. Shruthi, N., & Priyamvada, S. Dominant frame extraction for video indexing. *2017 2nd IEEE International Con-ference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 2017, pp. 1799–1803.
7. Zubkov, A. Yu. Vybory metodov identifikatsii klasterov pri vosstanovlenii fragmentirovannykh faylov [Selection of methods for cluster identification when restoring fragmented files]. *Mezhvuzovskaya nauchno-tehnicheskaya konfe-rentsiya studentov, aspirantov i molodykh specialistov imeni E.V. Armenskogo* [Interuniversity scientific and technical conference of students, postgraduates and young professionals named after E.V. Armensky], 2017, pp. 377–378.
8. Shagun, A. A., Baranov, A. V., Kadan, A. M. Vosstanovlenie informatsii povrezhdennykh arkhivov [Recov-ering information from damaged archives]. *Tekhnologii informatizatsii i upravleniya* [Informatization and manage-ment technologies]. Minsk, 2011, pp. 95–98.
9. Hu, P. Computer Testing and Maintenance and Data Recovery Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2020, vol. 1648, no. 2, pp. 022198.
10. Dianwu, X. U. Study on AVI file format and its application [J]. *Modern Electronics Technique*, 2008, vol. 2, pp. 119–122.
11. Amon, P., Rathgen, T., & Singer, D. File format for scalable video coding. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, no. 17 (9), pp. 1174–1185.
12. Ningsih, P. A. S. L. E., Sasmita, G. M. A., Mandenni, N. M. I. M. MP4 video steganography using least significant bit (LSB) substitution and advanced encryption standard (AES). *Journal of Theoretical & Applied Infor-mation Technology*, 2017, no. 95 (21), pp. 5805–5814.
13. Sedykh, I. A., Demakhin, D. S. Obucheniye neyronnykh setey na klasterizovannykh dannyykh [Multilayer perceptron with source data clustering]. *II Vestnik Lipeckogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [II Bulletin of Lipetsk State Technical University], 2017, no. 4, pp. 16–21.
14. Goodfellow, J., Joshua, B., Courville, A. *Glubokoe obucheniye* [Deep Learning. Liters]. Moscow, DMK-Press, 2018.
15. Ukolov, R. V. Programma dlya analiza videofaylov na predmet nalichiya povrezhdeniy [Software for ana-lyzing video files for damage]. *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya JeVM* [Certificate of state registration of a computer program], no. 2019615359, Moscow, Rospatent Publ., 2019.