

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 21–35
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>

EVALUATION OF MPEG-2 FAMILY CODECS

S. Safin¹, Y. Bagdollauly^{1}, Jia Wei²*

¹International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan;

²Harbin University of Commerce, Harbin, China.

E-mail: y.bagdollauly@gmail.com

Rafail Safin — PhD, Associate Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: safin.rafail@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1583-0034>;

Yessen Bagdollauly — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: y.bagdollauly@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4322-0762>;

Jia Wei — Senior Lecturer, Harbin University of Commerce, Harbin, China

E-mail: 313023306@qq.com, <https://orcid.org/0000-0002-9096-473X>.

© R. Safin, Y. Bagdollauly, Jia Wei

Abstract. This study investigates the quality of MPEG-2 decoders when decoding video streams with different levels of distortion. The relevance of this research is due to the widespread use of MPEG-2 in satellite and digital television, as well as in video playback from DVDs and other media, where streams may contain errors. The aim of the study is to comparatively evaluate the resilience of various MPEG-2 decoders to corrupted streams and to identify factors affecting visual decoding quality. To achieve this goal, the following tasks were performed: encoding standard test video sequences, generating streams with controlled errors, decoding with various MPEG-2 decoders, assessing quality using the per-frame Y-PSNR metric, and classifying decoders according to their error-handling capabilities. Experiments were repeated 100 times for each bit error probability on the Foreman and Battle sequences (10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}). Results demonstrated significant differences in visual quality among decoders of the same standard: libavcodec from FFDSHOW provided the best performance due to interpolation of corrupted blocks, whereas InterVideo, BitControl, MainConcept, and Pinnacle decoders exhibited low error resilience. The conclusion confirms the hypothesis regarding differences in error-handling algorithms among MPEG-2 decoders and emphasizes the practical importance of selecting optimal decoders for operation under unreliable transmission conditions. The results can be applied in DVB equipment design and in developing video stream quality testing methodologies.

Keywords: MPEG-2, decoder, video stream, errors, Y-PSNR, resilience

For citation: R. Safin, Y. Bagdollauly, Jia Wei. EVALUATION OF MPEG-2 FAMILY CODECS//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 21–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

MPEG-2 КОДЕКТЕР ОТБАСЫН ТЕСТІЛЕУ

Р. Сафин¹, Е. Бағдоллаұлы^{1}, Цзя Вэй²*

¹Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан;

²Харбин коммерция университеті, Харбин, Қытай.



E-mail: y.bagdollauly@gmail.com

Рафаиль Сафин — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан

E-mail: safin.rafail@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1583-0034>;

Есен Бағдоллаұлы — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан

E-mail: y.bagdollauly@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4322-0762>;

Цзя Вэй — аға оқытушы, Харбин коммерция университеті, Харбин, Қытай

E-mail: 313023306@qq.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9096-473X>.

© Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй

Аннотация. Бұл жұмыста MPEG-2 декодерлерінің әртүрлі бұрмаланған бейнеағындарды декодтау кезінде жұмыс сапасын бағалау мәселесі қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі MPEG-2-нің спутниктік және сандық теледидарларда, сондай-ақ DVD және басқа тасымалдаушылардағы бейнені ойнату кезінде ағындарда қателіктер болуы мүмкіндігінен туындайды. Зерттеудің мақсаты — MPEG-2 декодерлерінің қателігі бар ағындарға төзімділігін салыстырмалы бағалау және декодтаудың визуалды сапасына әсер ететін факторларды анықтау. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: стандартты тесттік бейнеағындарды кодтау, қателіктері бақыланатын ағындарды генерациялау, әртүрлі MPEG-2 декодерлерін пайдаланып декодтау, Y-PSNR көрсеткіші бойынша сапасын бағалау және декодерлерді қателерді өңдеуге қабілетіне қарай жіктеу. Жұмыс барысында Foreman және Battle бейнеағындарында әрбір қате ықтималдығы үшін 100 рет қайталанатын тәжірибелер жүргізілді (10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}). Нәтижелер бір стандарттағы декодерлердің визуалды сапасында елеулі айырмашылықтар бар екенін көрсетті: FFDSHOW-дің libavcodec декодері зақымдалған блоктарды интерполяциялау арқылы ең жақсы нәтижелерге жетсе, InterVideo, BitControl, MainConcept және Pinnacle декодерлері қателіктерге төзімділігі төмен екенін көрсетті. Зерттеудің қорытындысы MPEG-2 декодерлеріндегі қателерді өңдеу алгоритмдерінің айырмашылығын растайды және сенімсіз деректер ағындарымен жұмыс істеу кезінде оңтайлы декодерлерді таңдаудың практикалық маңыздылығын көрсетеді. Нәтижелер DVB жабдықтарын жобалау және бейнеағындардың сапасын тестілеу әдістерін әзірлеуде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: MPEG-2, декодер, бейнеағын, қателік, Y-PSNR, төзімділік

Дәйексөздер үшін: Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй. MPEG-2 кодектер отбасын тестілеу//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 21–35 бет. (Орыс. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ТЕСТИРОВАНИЕ КОДЕКОВ СЕМЕЙСТВА MPEG-2

Р.Т. Сафин¹, Е. Бағдоллаұлы^{1}, Цзя Вэй²*

¹Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан. Almaty, Kazakhstan;

²Харбинский университет коммерции, Харбин, Китай.

E-mail: y.bagdollauly@gmail.com

Рафаиль Сафин — PhD, ассоциированный профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: safin.rafail@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1583-0034>;



Есен Бағдоллаұлы — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: y.bagdollauly@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4322-0762>;

Цзя Вэй — старший преподаватель, Харбинский университет коммерции, Харбин, Китай

E-mail: 313023306@qq.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9096-473X>.

© Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема оценки качества работы MPEG-2 декодеров при декодировании видеопотоков с различной степенью искажения. Актуальность исследования обусловлена применением MPEG-2 в спутниковом и цифровом телевидении, а также воспроизведением видео с DVD и других носителей, где потоки могут содержать ошибки. Целью исследования является сравнительная оценка устойчивости различных MPEG-2 декодеров к ошибочным потокам и выявление факторов, влияющих на визуальное качество декодирования. Для достижения цели поставлены следующие задачи: кодирование стандартных тестовых видеопоследовательностей, генерация потоков с контролируемыми ошибками, декодирование с использованием различных MPEG-2 декодеров, оценка качества по кадровой метрике Y-PSNR и классификация декодеров по способности обработки ошибок. В ходе работы проведены многократные эксперименты (100 повторов для каждой вероятности ошибок) на видеопоследовательностях Foreman и Battle с вероятностями инверсии бита 10^{-4} , 10^{-5} и 10^{-6} . Полученные результаты показали, что декодеры одного стандарта существенно отличаются по визуальному качеству: libavcodec от FFDSHOW демонстрирует наилучшие показатели за счет интерполяции поврежденных блоков, в то время как декодеры InterVideo, BitControl, MainConcept и Pinnacle показывают низкую устойчивость к ошибкам. Заключение исследования подтверждает выдвинутую гипотезу о различиях алгоритмов обработки ошибок в MPEG-2 декодерах и подчеркивает практическую значимость выбора оптимальных декодеров для работы в условиях ненадежной передачи данных. Результаты могут быть использованы для проектирования оборудования DVB и разработки методов тестирования качества видеопотоков.

Ключевые слова: MPEG-2, декодер, видеопоток, ошибки, Y-PSNR, устойчивость

Для цитирования: Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй. Тестирование кодеков семейства MPEG-2//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 21–35. (На англ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные технологии передачи видео предъявляют высокие требования к качеству декодирования видеопотоков, особенно в условиях возможных ошибок канала передачи. Это актуально для спутникового вещания, цифрового телевидения (DVB) и воспроизведения видео с носителей, таких как DVD. Несмотря на широкое распространение стандарта MPEG-2, большинство существующих исследований ограничиваются анализом работы декодеров в идеальных условиях передачи, тогда как в реальных сценариях потоки могут содержать ошибки, существенно влияющие на визуальное качество и стабильность декодирования (Markosyan, 2017: 386).

Объектом исследования являются видеодекодеры стандарта MPEG-2, а предметом — методы их работы с искаженными потоками. Цель исследования заключается в сравнительной оценке качества работы различных MPEG-2 декодеров при декодировании видеопотоков с ошибками и выявлении факторов, влияющих на визуальное качество воспроизведения.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:



- Провести кодирование стандартных видеопоследовательностей (Foreman, Battle) в формат MPEG-2 с контролируемым битрейтом и параметрами;
- Сгенерировать искаженные видеопотоки с различной вероятностью битовых ошибок, имитирующих реальные условия передачи данных по спутниковым каналам;
- Декодировать искаженные потоки различными декодерами (ElecCard, BitControl, DScaler, ffdshow, MainConcept, Pinnacle, InterVideo) и оценить качество полученных видеопоследовательностей с использованием объективных метрик, таких как Y-PSNR;
- Проанализировать результаты тестирования и классифицировать декодеры по их способности работать с ошибочными потоками;
- Определить оптимальные декодеры для работы в условиях ненадежных каналов передачи, обеспечивающие наилучшее визуальное качество.

Методы исследования включают многократное тестирование видеопотоков на компьютерах с различной конфигурацией, использование специализированных программных средств для генерации ошибок и расчета метрик качества видео. Для кодирования использовался TMPGEnc с постоянным битрейтом 3 Мбит/с, сборки в MPEG-2 Transport Stream — ElecCard XMuxer Pro, а искажения вносились с помощью специально разработанной утилиты на основе библиотеки pseudo random number generators. Декодирование выполнялось различными MPEG-2 декодерами, а оценка визуального качества проводилась покадрово по метрике Y-PSNR с усреднением результатов после 100 повторов тестирования (ElecCard, 2006: 13; TMPGEnc, 2005: 23; AviSynth, 2004: 25; VirtualDub, 2003: 15; BitControl, 2005: 30; FFDSHOW, 2006: 34; DScaler, 2004: 27).

На основе проведенных экспериментов установлено, что декодеры одного стандарта существенно отличаются по способности обрабатывать ошибочные видеопотоки. Некоторые декодеры, такие как libavcodec от ffdshow, обеспечивают высокое визуальное качество за счет интерполяции искаженных блоков, в то время как другие декодеры (InterVideo, BitControl, MainConcept, Pinnacle) показывают низкое качество или не могут корректно декодировать потоки при высокой вероятности ошибок (ElecCard, 2006: 13; TMPGEnc, 2005: 23; AviSynth, 2004: 25; VirtualDub, 2003: 15; BitControl, 2005: 30; FFDSHOW, 2006: 34; DScaler, 2004: 27). Такие различия объясняются тем, что стандарт MPEG-2 лишь задает общие подходы к восстановлению после ошибок, не регламентируя их жестко, что оставляет производителям декодеров пространство для реализации собственных алгоритмов.

Значение данного исследования заключается в практической возможности выбора декодеров для работы с ошибочными потоками, оценки надежности оборудования DVB и прогнозирования качества видеопередачи в реальных условиях. Выявленные закономерности позволяют более точно моделировать работу декодеров при проектировании систем спутникового и цифрового телевидения, а также при воспроизведении видео с поврежденных носителей.

Таким образом, проведенное исследование восполняет существующий пробел в оценке работы MPEG-2 декодеров при ошибочных потоках, а предложенные методы тестирования и анализа могут быть использованы для дальнейших исследований в области надежной цифровой передачи видео.

Материалы и методы

Объектом исследования являются видеodeкодеры стандарта MPEG-2, используемые для декодирования видеопотоков с различными уровнями ошибок. В качестве исследуемых декодеров были выбраны: ElecCard MPEG-2 Demultiplexer, BitControl, DScaler, libavcodec от FFDSHOW, MainConcept, Pinnacle и InterVideo (ElecCard, 2006: 13; TMPGEnc, 2005: 23; AviSynth, 2004: 25; VirtualDub, 2003: 15; BitControl, 2005: 30; FFDSHOW, 2006: 34; DScaler, 2004: 27).

В качестве видеоматериала использовались стандартные тестовые последовательности:

- Foreman — разрешение 352×288, 300 кадров, цветовое пространство YV12, частота кадров 30 fps, прогрессивный формат;

- Battle — разрешение и параметры соответствуют стандартным тестовым последовательностям MPEG-2.

- Кодирование видеопотоков выполнялось с помощью TMPGEnc версии 2.5 с постоянным битрейтом 3 Мбит/с и настройками по умолчанию. Сборка потоков в MPEG-2 Transport Stream проводилась с использованием Elecard X Mixer Pro версии 1.1. Для внесения случайных ошибок в потоки использовалась специально разработанная утилита на основе открытой библиотеки генераторов случайных чисел randoma.lib.

Тестирование проводилось на двух конфигурациях персональных компьютеров:

- процессор Pentium 4 2.8 GHz с Hyper Threading;

- операционная система Windows 2000 Pro SP4;

- память 1 Gb;

- видеоускоритель ATI Radeon 9600;

- жесткий диск 2×80 Gb ATA100.

Предлагаемая гипотеза заключается в следующем: качество декодирования MPEG-2 видеопотоков с ошибками зависит не только от типа и вероятности ошибок в потоке, но и от алгоритмов обработки ошибок, реализованных в конкретных декодерах. Следовательно, декодеры одного стандарта могут демонстрировать существенные различия по визуальному качеству воспроизведения в условиях ошибочных потоков.

Этапы исследования:

- Кодирование исходных видеопоследовательностей в MPEG-2 Elementary Stream с постоянным битрейтом.

- Сборка потоков в MPEG-2 Transport Stream.

- Внесение случайных битовых ошибок с вероятностями 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} для Foreman и 10^{-5} для Battle. Первый заголовок потока всегда сохранялся.

- Декодирование искаженных потоков различными MPEG-2 декодерами.

- Оценка визуального качества декодированных последовательностей с помощью объективной метрики Y-PSNR на покадровой основе. Для кадров, которые декодер не смог распаковать, устанавливалось значение метрики 0.

- Повторение экспериментов 100 раз для усреднения результатов и исключения случайного влияния позиции ошибки в потоке.

- Сравнение усредненных значений Y-PSNR для всех декодеров и классификация их по способности работы с ошибочными потоками.

Методы исследования:

- Экспериментальный метод — кодирование и декодирование видеопоследовательностей с контролируемыми параметрами и вероятностью ошибок.

- Метод объективной оценки качества — покадровый расчет Y-PSNR (peak signal-to-noise ratio) для измерения различий между исходным и декодированным видеопотоком.

- Статистический метод — многократное повторение эксперимента (100 раз) и усреднение результатов для получения достоверной оценки качества.

- Сравнительный анализ — сопоставление работы разных декодеров и выявление закономерностей их работы с ошибочными потоками.

Метод классификации — распределение декодеров по классам в зависимости от способности обрабатывать поврежденные видеопотоки, визуальных артефактов и устойчивости к высоким вероятностям ошибок.

Новизна работы заключается в комплексной оценке устойчивости современных MPEG-2 декодеров к ошибочным потокам с контролируемыми вероятностями битовых ошибок, а также в предложении методики системного тестирования с покадровым анализом метрики Y-PSNR. Полученные результаты позволяют не только выявить различия в алгоритмах обработки ошибок у разных декодеров, но и дать рекомендации по выбору

декодеров для работы в реальных условиях передачи видео, включая спутниковые каналы и цифровое телевидение DVB.

Результаты и обсуждение

Основной задачей ставилась сравнительная оценка качества работы декодеров стандарта MPEG-2 при декодировании потоков с ошибками. Это актуально для спутникового вещания и, в меньшей степени, для проигрывания видео с DVD.

Правила тестирования:

а) при помощи TMPGEnc последовательность кодировалась в MPEG-2 Elementary Stream с постоянным битрейтом 3 мбит/с и с остальными настройками по умолчанию;

б) при помощи Ecard Xmuxer Pro данный поток собирался в MPEG-2 Transport Stream;

в) при помощи специально написанной утилиты данные подвергались случайному искажению. Вероятность внесения битовых ошибок регулировалась. Первый заголовок потока всегда сохранялся в целости;

г) искаженные данные декодировались разными декодерами и полученные видеопоследовательности сравнивались при помощи объективных метрик с исходными декодированными последовательностями;

д) для получения более адекватного результата процесс внесения ошибок, декодирования и подсчета метрик повторялся 100 раз. Это обусловлено тем, что возможность эффективного исправления или смягчения влияния ошибки во многом зависит от ее местоположения в потоке;

е) если декодер не мог распаковать кадр, в результирующую последовательность подставлялся кадр серого цвета. Для кадрового сравнения значение метрики Y-PSNR для таких кадров устанавливалось равным 0;

ж) данные усреднялись.

Для тестирования DirectShow кодеков использовались следующие программные продукты и модули:

а) GraphEdit версии 1.33133;

б) AviSynth версии 2.55;

в) VirtualDub версии 1.6.14;

г) TMPGEnc версии 2.5;

д) Ecard Xmuxer pro версии 1.1;

е) Ecard MPEG-2 Demultiplexer версий 2.0b2 и 1.0.47.

В предварительной части данного тестирования trial-версия Ecard Demultiplexer показала хорошие результаты, и по просьбе авторов компания Ecard предоставила для данного тестирования полную версию Ecard MPEG-2 Demultiplexer 2.0b:

а) при написании утилиты генерации ошибок была использована открытая библиотека random.lib из набора Pseudo random number generators3;

б) для расчета всех метрик использовался специально подготовленный для тестирования вариант программы MSU Video Quality Measure4.

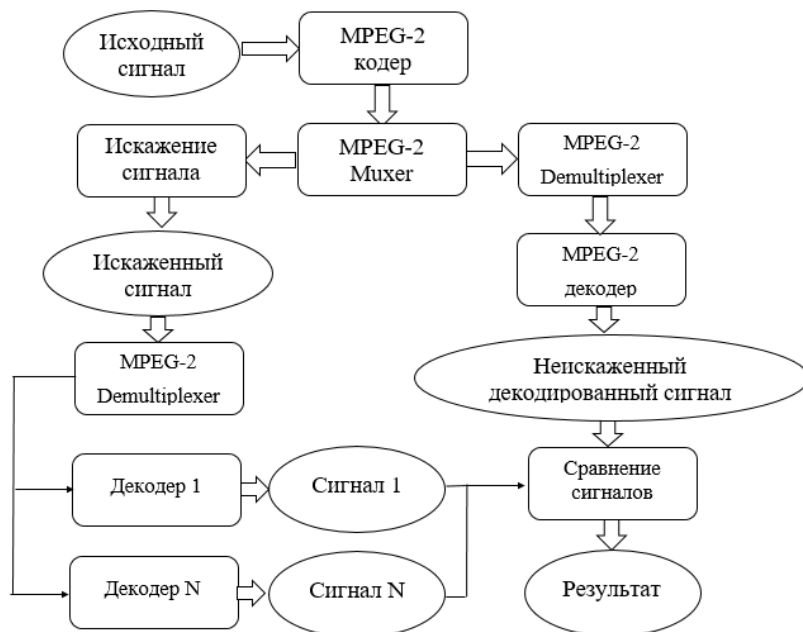


Рис. 1. Схема проведения тестирования декодеров

Для тестирования использовались два компьютера со следующей конфигурацией (Песков, 2008а: 16–19):

- а) процессор: Pentium 4, 2.8 GHz with Hyper Threading;
- б) операционная система: Windows 2000 Pro, SP4;
- в) память: 1Gb;
- г) видео ускоритель: ATI Radeon 9600;
- д) жёсткий диск: 2x80Gb ATA100.

Название последовательности foreman. Разрешение 352x288. Число кадров 300. Цветовое пространство YV12. Частота кадров 30. Источник Стандартная последовательность, прогрессивный формат.

Декодеры:

- а) BitControl;
- б) DirectShow декодер;
- в) версия 1.5.0.251;
- г) при работе повышает яркость видеопоследовательности.

Основной принцип данной части тестирования: разные декодеры декодируют один и тот же искаженный поток.

В качестве декодера для декодирования исходного неискаженного сигнала использовался декодер от компании Elicard. Это объясняется тем, что почти все декодеры распаковали неповрежденный поток визуально одинаково (за исключением декодера BitControl) – значение метрики Y-PSNR для них от 60 до 100 дБ. Для сравнения сигналов для декодера от BitControl при декодировании неискаженного потока также использовался декодер от BitControl (Песков, 2008а: 16–19).

Тестирование проводилось на двух видеопоследовательностях:

- а) Foreman;
- б) Battle.

На последовательности Foreman кодированный поток подвергался искажениям с вероятностями инверсии бита 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} . Данные вероятности были выбраны, как соответствующие типовым вероятностям искажения при спутниковой передаче при использовании ненадежного канала. На последовательности Battle кодированный поток подвергался искажениям с вероятностью инверсии бита 10^{-5} . Для измерения качества

декодированного видео использовалась метрика PSNR. PSNR (peak-to-peak signal-to-noise ratio) – это классическая метрика для измерения качества сжатого видео. Для двух картинок x_i, j и y_i, j значение метрики вычисляется по следующей формуле:

$$d(X, Y) = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2 \cdot n^2}{\sum_{i=1, j=1}^{n, n} (x_{ij} - y_{ij})^2}. \quad (1)$$

Несмотря на то, что эта метрика в общем случае не отражает восприятие человеком искажений картинки, на протяжении последних десятилетий она является основным общепринятым средством для оценки качества работы видеокодеков. Последовательность “Foreman” Покадровые значения метрики. Поскольку проводилось 100 запусков и измерений для каждой вероятности ошибок для всех декодеров, то привести все графики не представляется возможным и разумным. В данной работе приведено по одному графику покадрового значения метрики Y-PSNR для каждой из трех вероятностей ошибок. Если декодер не мог декодировать кадр, то в поток записывался кадр. Серого цвета, значение метрики для таких кадров низкое. Для наглядности визуализации покадровых метрик для пропущенных кадров принято нулевое значение метрики. Perframe Y-PSNR Frame number Y-PSNR, dB BitControl Dscaler Elecard FFDSHOW InterVideo Ligos MainConcept Pinnacle (Песков, 2008б: 80–84).

На Рисунке 2 отсутствуют декодеры от компаний InterVideo, Pinnacle и MainConcept по причине того, что данные декодеры не смогли распаковать поток с вероятности ошибок 10^{-4} . Декодер от компании InterVideo пропустил все кадры, а декодеры от компаний MainConcept и Pinnacle не смогли открыть такой поток. Выше качество. Frame number Y-PSNR, дБ (Markosyan, 2017: 386–389).

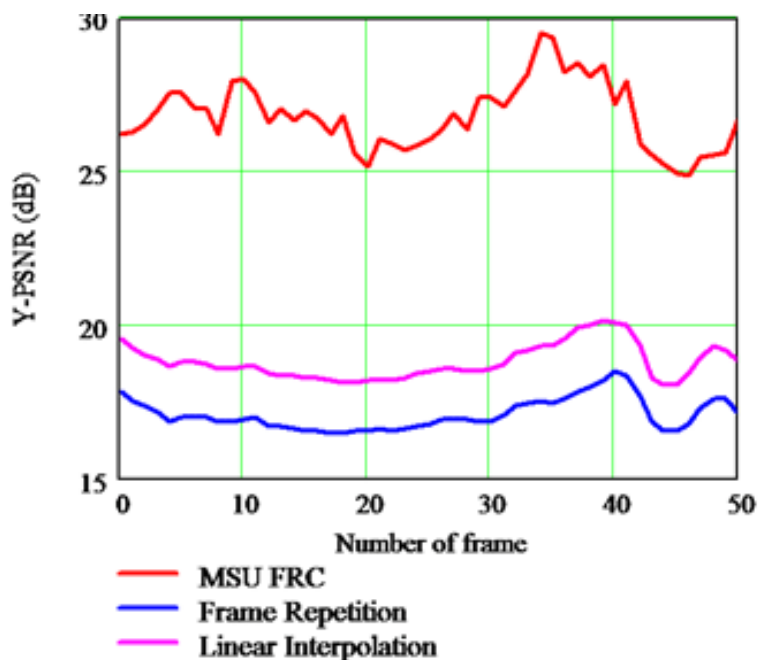


Рис. 2. Покадровый Y-PSNR, вероятность инверсии бита 10^{-4} последовательность “Foreman”

Периодичность значений метрики Y-PSNR для декодера от компании Inter Video объясняется тем, что данный декодер в целом плохо работает с искаженным потоком, и для данных, представленных на Рисунке 3, результат его работы следующий: часть кадров не декодирована – серые кадры (значение метрики нулевое), а другая часть представляет собой

повторяющиеся куски, состоящие из одних и тех же кадров. Perframe Y-PSNR. Frame number. Y-PSNR, дБ.

При анализе графика на Рисунке 3 надо учитывать, что значение метрики PSNR равное 100 дБ означает полную идентичность двух кадров, а значения, свыше 50 дБ означают, что кадры визуально идентичны, хотя и имеют незначительные различия (Песков, 20086: 80–84).

Для декодирования неискаженного потока был выбран декодер от компании Elecard и поэтому на некоторых кадрах значение метрики Y-PSNR для данного декодера равно 100 дБ, в то время, как другие декодеры достигают только дБ. Но это мало сказывается на среднем значении для последовательности. В ходе проведенного исследования было замечено, что декодеры от компаний MainConcept и Pinnacle дают очень похожие результаты.

Выводы:

а) высокое качество декодированных последовательностей при использовании декодера `ffdshow` объясняется тем, что этот декодер заменяет ошибочные блоки интерполяцией соседних блоков;

б) низкое качество `BitControl` объясняется тем, что в декодированной последовательности произошел сдвиг кадров;

в) декодер от `InterVideo` не смог декодировать ни одного кадра видеопоследовательности при вероятности ошибок 10^{-4} ;

г) декодеры от `MainConcept` и `Pinnacle` декодировали только несколько первых кадров;

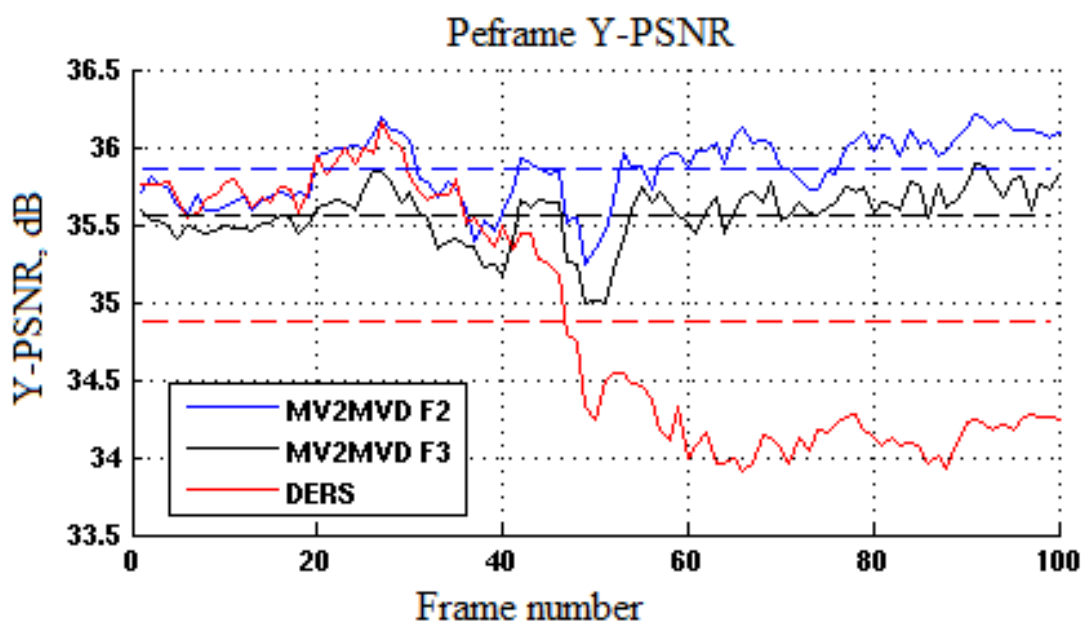


Рис. 3. Покадровый Y-PSNR, вероятность инверсии бита 10^{-5} последовательность "Foreman"

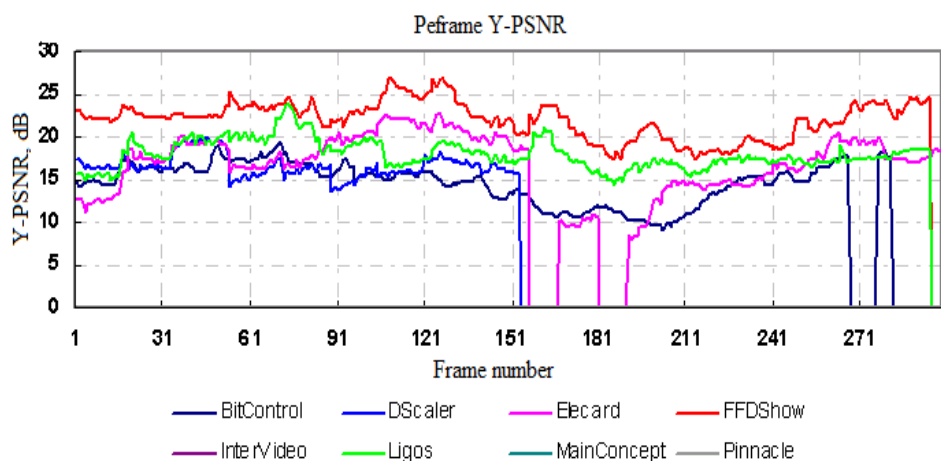


Рис. 4. Покадровый Y-PSNR, вероятность инверсии бита 10^{-6} последовательность "Foreman"

д) остальные декодеры не обрабатывают ошибочные блоки, отображая их без изменений (Песков, 2008б: 80–84).

Декодер от InterVideo пропустил почти все кадры, оставив только несколько. Существует широко распространенное мнение, что кодеки одного стандарта отличаются крайне незначительно, все декодеры работают одинаково. Проведенное исследование убедительно показывает, что это не так. В частности, производители декодеров реализуют в своих продуктах различные способы работы с искаженным видеопотоком. Некоторые декодеры не рассчитаны на работу в ненадежных средах передачи данных, и качество декодированного видео очень низкое. Причина различий в декодерах следующая: стандарт MPEG-2 предлагает некоторые способы восстановления после ошибок, но эти способы жестко не оговорены в стандарте. Протестированные декодеры можно разделить на пять классов:

а) первый класс содержит только один декодер – libavcodec от ffdshow – этот декодер показал наилучший визуальный результат при работе с искаженным видеопотоком за счет того, что заменял искаженные блоки интерполированными;

б) во втором классе три декодера: Eiecard, Ligos и DScaler. Они могут декодировать поврежденный поток с визуальными артефактами даже при высокой вероятности ошибок;

в) третий класс состоит из двух декодеров: MainConcept и Pinnacle. Эти декодеры могут декодировать поврежденный поток, давая небольшие визуальные артефакты, но они не могут декодировать поток с высокой вероятностью ошибок;

г) четвертый класс – декодер от BitControl, программа декодирует искаженный поток с визуальными артефактами, но он повышает общую яркость видеопоследовательности (даже если поток без ошибок) и при декодировании искаженного видеопотока иногда производит сдвиг кадров;

д) пятый класс содержит декодер от InterVideo, который не может корректно декодировать искаженный поток даже при невысокой вероятности ошибок и поэтому не подходит для работы с искаженными видеопотоками. Таким образом, лучшим MPEG-2 декодером для работы с искаженным видеопотоком, как обеспечивающий наилучшее визуальное качество, является декодер libavcodec от FFDshow.

Измерение уровня ошибок в канале DVB как функция отношения C/N (S/N Eb/No).

При проектировании и оценке аппаратуры и линий связи в стандарте DVB. Необходимо рассмотреть следующие вопросы: при каком C/N отношении STB продолжает работать корректно, такой запас мы имеем при работе с DVB-S или DVB-C сигналами, какова зависимость уровня ошибок (BER) от этих параметров.

Во многих случаях это определённый порог BER для определённого DVB оборудования или чипсета

Различные значения этого параметра для различных видов модуляций.

DVB-S (QPSK) –имеет два уровня кодозащиты : Viterbi и Reed Solomon (RS).

DVB-C (nQAM)- только один уровень. Графики, полученные ниже иллюстрируют эти зависимости для разных типов модуляции. Так как достаточно сложно сгенерировать поток DVB с определённым количеством BER, применён более практичный метод изменения C/N и контроля BER.

В сформированный DVB-C и DVB-S сигналы порционно домешивался «белый» шум. Гарантированная точность не более $\pm 0,25\text{dB}$.

Наиболее интересная часть этих характеристик находится в зоне $\text{BER} = 10^{-4}$ до 10^{-6} .

Изменение S/N на 1dB дает изменение BER на порядок.

Далее приведены диаграммы, снятые для DVB-S (QPSK) с различными значениями FEC.

При модуляции DVB-S (QPSK) – где используются две схемы кодозащиты ситуация несколько хуже в плане чувствительности к изменениям S/N. Так при изменениях S/N всего на 0,5dB BER изменяется почти в десять раз.

Вообще участок где BER достигает значения 10^{-4} наиболее критичен так как это зона порога для большинства приёмных устройств DVB.

Преобразование S/N (C/N) to E_b/N_0 .

Часто индицируется значения BER, E_b/N_0 и другие. С учётом нескольких факторов их можно конвертировать между собой:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + k_{\text{FEC}} + k_{\text{QPSK/QAM}} + k_p, \quad (2)$$

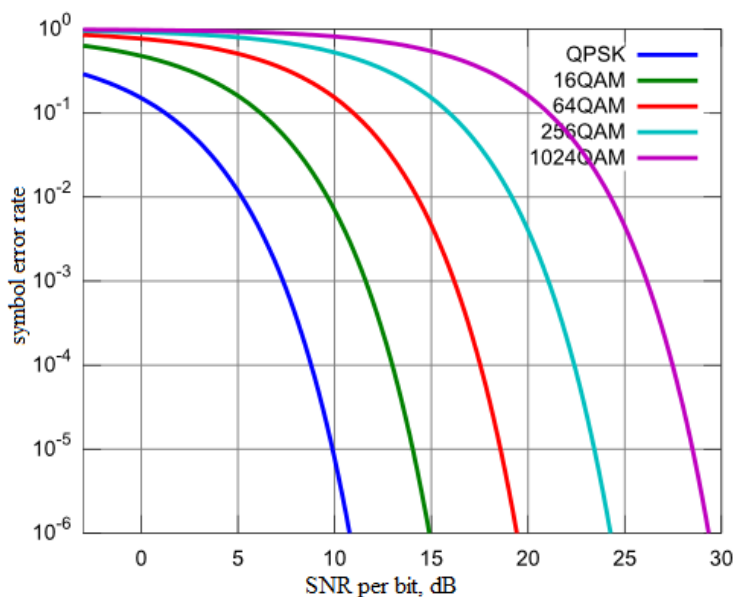


Рис. 5. Зависимости BER от S/N для разных типов модуляции

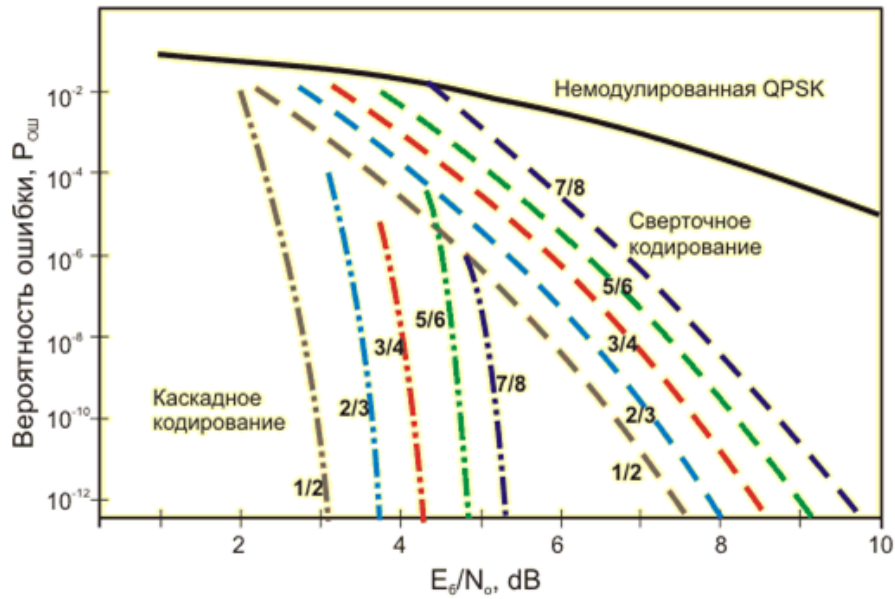


Рис. 6. Диаграммы, снятые для DVB-S (QPSK) с различными значениями FEC

$$\frac{E_h}{N_0} = \frac{C}{N} - k_{\text{FEC}} - k_{\text{QPSK/QAM}} - k_p, \quad (3)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} - k_{\text{rolloff}} - k_{\text{FEC}} - k_{\text{QPSK/QAM}} - k_p, \quad (4)$$

$$\frac{C}{N} = \frac{S}{N} - k_{\text{rolloff}}. \quad (5)$$

Фактор влияния кода Рида Соломона:

$$k_{\text{FEC}} = 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) = -0,3547 \text{ дБ.}$$

Фактор влияния мапинга (модуляции):

$$k_{\text{QPSK/QAM}} = 10 \cdot \lg(m). \quad (6)$$

Фактор влияния кода Витерби:

$$k_p = 10 \cdot \lg(P). \quad (7)$$

Таблица 1. Данные различных видов модуляции

Mode	m	$k_{\text{QPSK/QAM}}$, дБ
QPSK	2	3,0103
16 QAM	4	6,0206
64 QAM	6	7,7815
256 QAM	8	9,0309

Таблица 2. Данные различных видов модуляции

Mode	P	k_p , дБ
QPSK	1/2	-3,0103
-/-	2/3	-1,7609
-/-	3/4	-1,2494
-/-	5/6	-0,7918
-/-	7/8	-0,5799
QAM	1	0

Фактор,

$$k_{\text{rolloff}} = 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right). \quad (8)$$

Таблица 3. Данные различных видов стандартов

Mode	α	k_{rolloff} , дБ
DVB-C	0,15	-0,1660
DVB-S	0,35	-0,3977
-/-	0,27	-0,3035

Так же имеет значение где вычисляются эти взаимоотношения. Так, например, для канала распространения QAM:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) - 10 \cdot \lg(m). \quad (9)$$

Для демодулятора QAM:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) - 10 \cdot \lg(m). \quad (10)$$

Для демодулятора QPSK с измерением после Viterbi:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) - 10 \cdot \lg(m) - 10 \cdot \lg(P). \quad (11)$$

Для демодулятора QPSK с измерением до Viterbi:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} - 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10 \cdot \lg(m) - 10 \cdot \lg(P). \quad (12)$$

Таким образом, различные значения определённого порога BER для различных видов модуляций представлены на Рисунке 5.

Графики, полученные выше иллюстрируют эти зависимости для разных типов модуляции.

Заключение

Целью проведенного исследования было проведение сравнительной оценки качества работы различных MPEG-2 декодеров при декодировании видеопотоков с различной

степенью искажения, а также выявление факторов, влияющих на визуальное качество воспроизведения. Для достижения этой цели использовались экспериментальные методы, включающие кодирование стандартных видеопоследовательностей с постоянным битрейтом, генерацию случайных ошибок в потоке с различной вероятностью инверсии битов, декодирование искаженных видеопотоков различными декодерами и оценку визуального качества покaдрово с помощью метрики Y-PSNR. Многократное повторение экспериментов (100 раз для каждой вероятности ошибок) позволило получить усредненные значения метрик и исключить влияние случайного положения ошибки на результат.

Материалы исследования включали стандартные видеопоследовательности Foreman и Battle, различные MPEG-2 декодеры (ElecCard, BitControl, DScaler, FFDSHOW, MainConcept, Pinnacle, InterVideo) и специализированное программное обеспечение для генерации ошибок и расчета метрик качества. Использование тестовых последовательностей с известными характеристиками и контроль вероятности ошибок позволили реализовать воспроизводимый экспериментальный процесс и обеспечить достоверность полученных результатов.

В ходе исследования подтверждена выдвинутая гипотеза о том, что декодеры одного стандарта существенно отличаются по способности корректно работать с ошибочными видеопотоками. Полученные результаты демонстрируют, что:

- Декодер libavcodec от FFDSHOW обеспечивает наилучшее визуальное качество при декодировании потоков с ошибками за счет интерполяции поврежденных блоков;
- Декодеры ElecCard, Ligos и DScaler корректно декодируют поврежденный поток с визуальными артефактами даже при высокой вероятности ошибок;
- Декодеры MainConcept и Pinnacle способны декодировать поврежденный поток, но не выдерживают высокую вероятность ошибок;
- Декодер BitControl показывает низкое качество декодирования, сопровождающееся сдвигом кадров и повышением яркости изображения;
- Декодер InterVideo не способен корректно декодировать потоки с высокой вероятностью ошибок и не подходит для работы в ненадежных условиях передачи.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что стандарт MPEG-2 предоставляет лишь общие рекомендации по обработке ошибок, оставляя пространство для реализации различных алгоритмов декодирования, что объясняет существенные различия в работе декодеров одного стандарта. Таким образом, результаты работы не только подтверждают исходный тезис о различиях декодеров, но и расширяют научное знание о практической устойчивости MPEG-2 декодеров к ошибочным потокам.

Практическая значимость исследования заключается в возможности выбора оптимальных декодеров для воспроизведения видео в условиях ненадежной передачи данных, включая спутниковое вещание, цифровое телевидение DVB, воспроизведение с DVD и других носителей с потенциальными повреждениями потока. Результаты могут быть использованы при проектировании оборудования и программного обеспечения для декодирования MPEG-2, а также при разработке тестовых методик оценки устойчивости декодеров к ошибкам.

Перспективы дальнейших исследований включают:

- расширение экспериментов на другие стандарты видеокodирования, включая MPEG-4, H.264/AVC и HEVC, для оценки устойчивости к ошибочным потокам;
- анализ работы декодеров в условиях реальных каналов передачи, включая DVB-S, DVB-C и IPTV, с учетом влияния различных схем кодозащиты;
- разработку методик автоматического выбора оптимального декодера в зависимости от типа канала передачи и вероятности ошибок;
- создание адаптивных алгоритмов декодирования, способных динамически корректировать обработку поврежденных блоков для повышения визуального качества видео.

Таким образом, на основании проведенного исследования реализованы цели и методы работы: экспериментальная проверка гипотезы о различиях MPEG-2 декодеров подтверждена, выявлены количественные и качественные различия в обработке ошибок, классифицированы декодеры по степени устойчивости к поврежденным потокам. Результаты исследования позволяют обобщить существующие знания в области видеокодирования, подтвердить истинность выдвинутого тезиса и создать научную базу для дальнейших исследований и практического применения в цифровом видеовещании и системах воспроизведения видео.

ЛИТЕРАТУРА

- Песков, 2008a — Песков С.Н., Подольнова А.Н. Расчет зоны покрытия для цифрового эфирного вещания DVB-T/H // Журнал «Теле-Спутник». — 2008. — 5(151). — С. 16–19. [Russ.]
- Песков, 2008б — Песков С.Н., Подольнова А.Н. Расчет напряженности поля, создаваемой передатчиком // Журнал «Теле-Спутник». — 2008. — 8(154). — С. 80–84. [Russ.]
- Markosyan, 2017 — Markosyan M.V., Safin R.T., Artyukhin V.V., Satimova E.G. Determination of the Eb/N0 Ratio and Calculation of the Probability of an Error in the Digital Communication Channel of the IP-Video Surveillance System // Conference Computer Science and Information Technologies. — Armenia, Yerevan, September 25-29. — 2017. — P. 386–389. [Eng.]
- Elecard, 2006 — Elecard MPEG-2 Demultiplexer 2.0b Manual. — Elecard. — 2006. — 24 p. [Eng.]
- TMPGEnc, 2005 — TMPGEnc Video Mastering Works 2.5 User Manual. — Pegasys Inc., 2005. — 120 p. [Eng.]
- AviSynth, 2004 — AviSynth 2.5 Documentation. — Avisynth.org. — 2004. — 30 p. [Eng.]
- VirtualDub, 2003 — VirtualDub 1.6.14 User Guide. — Avery Lee. — 2003. — 40 p. [Eng.]
- BitControl, 2005 — BitControl MPEG-2 Decoder Manual. — BitControl Ltd. — 2005. — 50 p. [Eng.]
- FFDShow, 2006 — FFDShow MPEG-2 Decoder Documentation. — FFDShow Team. — 2006. — 60 p. [Eng.]
- DScaler, 2004 — DScaler MPEG-2 Decoder Manual. — DScaler Project. — 2004. — 60 p. [Eng.]

REFERENCES

- Peskov, 2008a — Peskov, S.N., Podolyanova, A.N. (2008). Raschet zony pokrytiya dlya tsifrovogo efirmogo veshchaniya DVB-T/H [Calculation of Coverage Area for Digital Terrestrial Broadcasting DVB-T/H] // Zhurnal "Tele-Sputnik". — 2008. — 5(151). — Pp. 16–19. [in Russ.]
- Peskov, 2008b — Peskov, S.N., Podolyanova, A.N. (2008). Raschet napryazhennosti polya, sozdavaemoy peredatchikom [Calculation of Field Strength Created by a Transmitter] // Zhurnal "Tele-Sputnik". — 2008. — 8(154). — Pp. 80–84. [in Russ.]
- Markosyan, 2017 — Markosyan, M.V., Safin, R.T., Artyukhin, V.V., Satimova, E.G. (2017). Determination of the Eb/N0 Ratio and Calculation of the Probability of an Error in the Digital Communication Channel of the IP-Video Surveillance System // Conference Computer Science and Information Technologies. — Armenia, Yerevan, September 25-29. — 2017. — Pp. 386–389. [in Eng.]
- Elecard, 2006 — Elecard (2006). Elecard MPEG-2 Demultiplexer 2.0b Manual. — Elecard. — 2006. — 24 p. [in Eng.]
- TMPGEnc, 2005 — Pegasys Inc. (2005). TMPGEnc Video Mastering Works 2.5 User Manual. — Pegasys Inc. — 2005. — 120 p. [in Eng.]
- AviSynth, 2004 — AviSynth.org. (2004). AviSynth 2.5 Documentation. — AviSynth.org. — 2004. — 30 p. [in Eng.]
- Lee, 2003 — Lee, A. (2003). VirtualDub 1.6.14 User Guide. — Avery Lee. — 2003. — 40 p. [in Eng.]
- BitControl, 2005 — BitControl Ltd. (2005). BitControl MPEG-2 Decoder Manual. — BitControl Ltd. — 2005. — 50 p. [in Eng.]
- FFDShow, 2006 — FFDShow Team. (2006). FFDShow MPEG-2 Decoder Documentation. — FFDShow Team. — 2006. — 60 p. [in Eng.]
- DScaler, 2004 — DScaler Project. (2004). DScaler MPEG-2 Decoder Manual. — DScaler Project. — 2004. — 60 p. [in Eng.]