

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ/SYSTEM ANALYSIS,
MANAGEMENT AND PROCESSING OF INFORMATION**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119>

**НАБОР ОБЪЕКТИВНЫХ МЕТРИК КАЧЕСТВА, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ОСОБЕННОСТИ
ВОСПРИЯТИЯ ВИДЕОСИГНАЛА ЧЕЛОВЕКОМ**

Научная статья

Токтасынов С.Э.^{1,*}, Калиберда Е.А.²

¹ORCID : 0009-0007-9538-3487;

²ORCID : 0000-0003-2796-5913;

^{1,2} Омский государственный технический университет, Омск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (stalkervelikaia[at]gmail.com)

Аннотация

Проведение оценки качества видеофайла является достаточно сложной и комплексной задачей из-за большого количества существующих метрик и наличия целого ряда параметров видеофайла, которые отвечают за его качество. Дополнительную сложность в проведении оценки качества видеофайлов с помощью метрик, вносит необходимость верификации полученных результатов на основе субъективной оценки качества того же файла.

В ходе данной работы был рассмотрен набор метрик, ориентированных на параметры видеофайла, соответствующих особенностям человеческого зрения. Проведено экспериментальное сравнение рассмотренного набора метрик, включающие в себя несколько этапов объективной и субъективной оценки. В результате сравнения, был определен результирующий набор метрик для комплексной оценки видеофайла, соответствующий субъективному восприятию.

Ключевые слова: качество видео, видеоконтент, объективная метрика, стандарт, субъективная метрика.

**A SET OF OBJECTIVE QUALITY METRICS ORIENTED TO THE SPECIFICS OF HUMAN PERCEPTION OF
THE VIDEO SIGNAL**

Research article

Toktassynov S.E.^{1,*}, Kaliberda E.A.²

¹ORCID : 0009-0007-9538-3487;

²ORCID : 0000-0003-2796-5913;

^{1,2} Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

* Corresponding author (stalkervelikaia[at]gmail.com)

Abstract

Video file quality evaluation is a rather complex and complex task due to the large number of existing metrics and the presence of a number of video file parameters that are responsible for its quality. The necessity to verify the obtained results on the basis of subjective quality assessment of the same file adds additional complexity to the evaluation of video file quality using metrics.

In the course of this work, a set of metrics focused on video file parameters corresponding to the features of human vision was considered. Experimental comparison of the considered set of metrics including several stages of objective and subjective evaluation has been carried out. As a result of comparison, the resulting set of metrics for complex evaluation of a video file corresponding to subjective perception was determined.

Keywords: video quality, video content, objective metric, standard, subjective metric.

Введение

Качество видео является важной характеристикой обработанного или передаваемого видеоконтента, которая позволяет оценить ухудшение его параметров по сравнению с эталонным видео. Оценку качества итогового видео можно провести с помощью двух видов метрик: объективной и субъективной [1].

Объективная метрика оценки качества является математической моделью, основанной на согласованных рекомендациях [2], которые описывают диапазон единиц измерения, определяющих уровень качества видео. В настоящее время разработано большое количество объективных метрик, которые являются алгоритмическими и позволяют оценивать определенные параметры видеофайлов [3], [4].

Субъективная оценка качества отражает восприятие видео человеком (зрителем) и основана на наборе субъективных параметров. В отличие от объективной метрики данный тип оценки зависит от наблюдателя (пол, возраст, профессия и т.д.) и от условий проведения (расстояние от монитора, ракурс и т.д.). Обозначенные условия проведения также описываются рекомендациями [5]. Кроме этого, субъективная оценка является достаточно затратной с невозможностью повторения результата эксперимента и отсутствием количественной оценки [6], [7].

Примеры сравнения объективных метрик оценки качества видео с субъективной оценкой рассматриваются в статьях разных авторов [8], [9], [13], авторы статей выполняют данное сравнение выбирая разный набор объективных метрик, не всегда обосновывая принцип выбора. Исходя из этого, задачей данной статьи является выбор и обоснование набора метрик оценки качества видео, работа которых основана на параметрах, приближенных к субъективному восприятию видео человеком – зрителем.

Постановка задачи

Зрение человека является комплексной оптической системой, в рамках которой происходит преобразование электромагнитного излучения светового диапазона в изображение. Первичная обработка сигнала происходит при помощи фоторецепторов (колбочек и палочек). Далее сигнал, преобразованный в нервный импульс, поступает к затылочной зоне головного мозга, где и формируется итоговое изображение. Благодаря высокой скорости обработки информации человеком (10 миллионов бит в секунду), «кадры» входного сигнала сливаются в мозгу в один непрерывный поток. При просмотре видео зрительная система человека фиксирует определенный набор параметров (яркость, контраст, цветность), соотношение данных параметров позволяет наблюдателю сформировать субъективное представление о качестве передаваемого видео [14].

При выборе объективных метрик для оценки качества следует учитывать следующие важные свойства человеческого зрения:

Чувствительность к изменению яркости изображения. Зрение человека способно адаптироваться к широкому диапазону яростей, и в каждом диапазоне глаз человек способен различать определенные уровни этого параметра. Причем разрешающая способность зависит не от разности уровней яркости, а от отношения этой разности к среднему значению яркости, т. е. от контраста.

Частотная чувствительность человеческого зрения проявляется в том, что человек гораздо более восприимчив к низкочастотному, чем к высокочастотному шуму. Это связано с неравномерностью амплитудно-частотной характеристики системы зрения человека.

Особенностью **цветового восприятия** человека является то, что некоторые цвета могут существовать в его восприятии (например, красноватый желтый ощущается как оранжевый), а другие – не могут (противоположные цвета).

Эффект маскирования в пространственной области заключается в увеличении порога обнаружения видеосигнала в присутствии другого сигнала, обладающего аналогичными характеристиками. Поэтому аддитивный шум гораздо заметнее на гладких участках изображения, чем на высокочастотных, то есть в последнем случае наблюдается маскирование. Наиболее сильно эффект маскирования проявляется, когда оба сигнала имеют одинаковую ориентацию и местоположение [15].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для выбора метрик объективной оценки качества видео, соответствующих субъективному, визуальному восприятию человека, необходимо ориентироваться прежде всего на такие параметры как яркость, контраст, цветность, зашумленность.

Видеофайл представляет собой набор связанных кадров. Последовательное воспроизведение кадров происходит достаточно быстро с определенной частотой (30-60 кадров в секунду). В соответствии с принципом работы метрик, при оценке качества, анализ происходит не по целостному видеофайлу, а по каждому кадру в отдельности.

На сегодняшний день существует большое количество метрик объективной оценки качества видеофайла. Каждая из существующих метрик имеет свои параметры алгоритм и числовой диапазон оценивания [16], [17].

В результате первичного сравнения наиболее популярных метрик, описанного в статье [18] из 22 рассмотренных метрик объективной оценки качества, были отобраны следующие:

SSIM – метрика, которая оценивает качество изображения по яркости, контрасту и структуре. Выходные данные данной метрики находятся в диапазоне значений от 0 (наихудший результат) до 1 (наилучший результат) [18].

MSAD – метрика, которая оценивает цветовые компоненты в точках изображений. Выходные данные метрики находятся в диапазоне значений от 0 (наилучший результат) до 255 (наихудший результат) [18].

NQI – метрика, которая оценивает качество изображения по потере корреляции, искажении яркости и контрастности. Выходные данные метрики находятся в диапазоне значений от 0 (наихудший результат) до 1 (наилучший результат) [18].

MSE – метрика, которая оценивает среднеквадратичную ошибку. Выходные данные метрики находятся в диапазоне значений от 0 (наилучший результат) до 65025 (наихудший результат). Данная метрика является частью метрики PSNR [18].

VMAF – данная метрика является совокупностью набора метрик, которые оценивают точность кадровой информации, искажения и изменение движения кадра. Выходные данные метрики находятся в диапазоне значений от 0 (наихудший результат) до 100 (наилучший результат) [18].

DISTS – самая новая метрика, которая реализована при помощи сверточных нейронных сетей и сравнивает карты текстур и структур эталонного искаженного видео. Выходные данные метрики находятся в диапазоне значений от 0 (наилучший результат) до 1 (наихудший результат). Метрика, по утверждению разработчиков, является самой коррелируемой с человеческим восприятием и устраниет недостаток метрики LPIPS [19].

PSNR – Пиковое отношение сигнал/шум. PSNR определяет уровень искажений при сжатии и включает подсчет среднеквадратичной ошибки (MSE). Диапазон принимаемых значений от 0 до 100 [18].

Каждая из отобранных метрик относится к определенной классификационной группе и позволяет оценить один или несколько параметров качества видеофайла. Общий набор из девяти метрик позволяет провести комплексную оценку качества по целому ряду параметров, указанных выше. Однако, при выборе указанных метрик, перед авторами статьи не стояла задача отбора метрик, ориентированных на субъективное восприятие человека.

Основные результаты

Для дальнейшей работы с группой из девяти метрик был подготовлен набор из пяти видео, снятых на телефон Google Pixel 2XL, с разрешением 1920x1080 и частотой кадров 60 кадров/с. Общее количество рассмотренных кадров для одного видео составляет 500 ед. Параметры рассматриваемых видео представлены в таблице 1. Для последующего сравнения с эталонными видео, проводилось искажение представленных параметров и формирование набора искаженных видео.

Таблица 1 - Параметры исследуемых видео

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.1>

	Видео 1	Видео 2	Видео 3	Видео 4	Видео 5
Размер (мб)	40,7	41,3	41,2	40,3	43,1
Продолжительность (секунды)	10	10	10	10	10
Разрешение (пиксели)	1920 x1080				
Битрейт (кбит в сек)	34058	34576	34509	33775	32830
Частота (кадров/с)	60,03	60,03	60,03	60,03	60,00

Далее была проведена оценка видео с использованием метрик SSIM, MSAD, NQI, MSE, VMAF, PSNR. Результаты оценки, на примере видео 2, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результат оценки качества

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.2>

Изменение параметра (ед.)	SSIM (яркость)	MSAD (цветность)	NQI (контраст)	MSE (ошибка)	PSNR (потеря качества)	VMAF (шум)
оригинал	1	0	1	0	99,99	98,499
Оценка изменения параметра яркости						
-50	0,89003	11,16	0,54832	341,67	22,795	100
-25	0,95233	6,8785	0,64377	123,65	27,209	100
25	0,94733	8,1033	0,68905	166	25,93	69,291
50	0,88171	14,055	0,63331	509,26	21,061	51,629
Оценка изменения параметра контраста						
-50	0,94202	7,1115	0,63614	131,79	26,932	100
-25	0,97652	3,5948	0,69404	32,559	33,004	100
25	0,97194	3,6873	0,70454	33,54	32,875	64,51
50	0,92687	6,427	0,63244	100,46	28,112	44,872
Оценка изменения параметра цветности						
-50	0,92831	8,2649	0,34011	120,55	27,319	44,177
-25	0,92924	6,6983	0,5603	100,55	28,108	44,637
25	0,92395	7,6182	0,57012	111,24	27,669	44,928
50	0,92108	8,4969	0,52133	124,71	27,172	44,644
Оценка влияния шумов						
25	0,97982	0,8255	0,72217	1,7767	45,64	94,48
50	0,94729	1,1431	0,6691	3,7411	42,404	92,466
75	0,90142	1,4871	0,62933	7,0204	39,669	89,677
100	0,85167	1,8336	0,59602	11,475	37,535	86,383
Оценка влияния зернистости						
25	0,95374	1,4541	0,5097	5,5323	40,704	85,81
50	0,9136	1,9443	0,4263	10,842	37,783	76,803
75	0,86589	2,4502	0,37008	18,614	35,437	67,242
100	0,8208	2,9155	0,32509	28,275	33,624	58,258

Аналогичные таблицы результатов были получены для каждого из пяти исследуемых видео.

Поскольку все рассматриваемые метрики имеют собственные шкалы оценок качества, имеющие разный диапазон значений, следующим этапом после проведения непосредственного оценивания является приведение полученных результатов к единой качественной шкале, понятной пользователю, которая базируется на субъективной оценке, представленной в таблице 3.

Таблица 3 - Шкала перевода значений метрик

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.3>

Цветовая идентификация	Субъективная идентификация	SSIM	MSAD	NQI	MSE	VMAF	PSNR
RGB (217, 234, 211)	отличное	0,93 и выше	0 - 2,05	0,43 и выше	0 - 15,5	90 и выше	38 и выше
RGB (255, 242, 204)	хорошее	0,88-0,93	2,05 - 2,67	0,33 - 0,43	15,5 - 28,9	74-90	35-38
RGB (189, 214, 238)	среднее	0,84-0,88	2,67 - 3,22	0,28 - 0,33	28,9 - 47,7	58-74	33-35
RGB (244, 204, 204)	низкое	0,78-0,84	3,22 - 3,96	0,21 - 0,28	47,7 - 83,2	38-58	30-33
RGB (234, 153, 153)	плохое	0,78 и ниже	3,96 и выше	0 - 0,21	83,2 и выше	38 и ниже	30 и ниже

Результат перевода результатов оценки к единой качественной шкале показан в таблице 4.

Таблица 4 - Перевод результатов оценки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.4>

Изменение параметра (ед.)	ssim (яркость)	msad (цветность)	nqi (контраст)	mse (ошибка)	psnr (потеря качества)	vmaf (шум)
оригинал	отличное	отличное	отличное	отличное	отличное	отличное
Оценка изменения параметра яркости						
-50	хорошее	плохое	отличное	плохое	плохое	отличное
-25	отличное	плохое	отличное	плохое	плохое	отличное
25	отличное	плохое	отличное	плохое	плохое	среднее
50	хорошее	плохое	отличное	плохое	плохое	низкое
Оценка изменения параметра контраста						
-50	хорошее	плохое	отличное	плохое	плохое	отличное
-25	отличное	низкое	отличное	среднее	среднее	отличное
25	отличное	низкое	отличное	среднее	низкое	среднее
50	хорошее	плохое	отличное	плохое	плохое	низкое
Оценка изменения параметра цветности						
-50	хорошее	плохое	хорошее	плохое	плохое	низкое
-25	хорошее	плохое	отличное	плохое	плохое	низкое
25	хорошее	плохое	отличное	плохое	плохое	низкое
50	хорошее	плохое	отличное	плохое	плохое	низкое
Оценка влияния шумов						
25	отличное	отличное	отличное	отличное	отличное	отличное
50	отличное	отличное	отличное	отличное	отличное	отличное
75	хорошее	отличное	отличное	отличное	отличное	хорошее

Изменение параметра (ед.)	ssim (яркость)	msad (цветность)	nqi (контраст)	mse (ошибка)	psnr (потеря качества)	vmaf (шум)
100	среднее	отличное	отличное	отличное	хорошее	хорошее
Оценка влияния зернистости						
25	отличное	отличное	отличное	отличное	отличное	хорошее
50	хорошее	отличное	хорошее	отличное	хорошее	хорошее
75	среднее	хорошее	хорошее	хорошее	хорошее	среднее
100	низкое	среднее	среднее	хорошее	среднее	среднее

Для дальнейшего сравнения качества оценки метрик было необходимо провести субъективную оценку качества визуального ряда на определенном наборе кадров.

Субъективная оценка основывается на методе «Категориальная оценка ухудшения» (DCR), который относится к методам с одновременным предъявлением эталонного и искаженного изображения [20].

Были отобраны две независимые группы экспертов по 10 человек в каждой: 10 экспертов мужского пола и 10 – женского, в возрасте от 23 до 29 лет, имеющих разные профессии и виды деятельности.

Эксперимент проводился в темной комнате, расстояние от монитора до эксперта было фиксированным (50 см), время просмотра пары изображений составляло 10 секунд, время просмотра серого фона для сброса восприятия также составляло 10 секунд.

После просмотра изображений была проведена оценка ухудшения качества искаженного изображения по пятибалльной шкале качества от 1 до 5 (1 – искажения раздражают, 5 – искажения не заметны). При получении всех оценок был подсчитан средний балл мнений (MOS), полученные оценки отражены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты усредненных субъективных оценок

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.5>

Критерий выборки	Пониженнная на 50 ед. яркость	Пониженный на 50 ед. контраст	Пониженный на 25 ед. контраст	Повышенный на 25 ед. контраст	Повышенный на 50 ед. контраст	Пониженная на 50 ед. цветность	Добавленные шумы	Добавленная зернистость
Пол (женский)	2,7	2,3	2,9	3,6	3,1	2,7	4,2	3,4
Пол (мужской)	3,6	3,5	4	4,4	3,8	3,5	4,9	3,4

Для оценки статистической значимости полученных результатов субъективной оценки двух независимых выборок использовалось t-распределение Стьюдента, т.к. количество экспертов невелико, и стандартное отклонение генеральной совокупности неизвестно. В качестве независимого критерия выборки выбирался пол эксперта.

В качестве нулевой гипотезы выбиралась гипотеза о равенстве средних значений оценок, двух совокупностей. Альтернативная гипотеза предполагает наличие значимых отличий между средними значениями оценок.

Результаты проведенной оценки приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Результат оценки статистической значимости эксперимента

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.6>

Критерий выборки	Число степеней свободы	Выборочное среднее	Стандартное отклонение	t-критерий (двусторонний)	Уровень значимости (p)
Пол (женский)	10	3,11	0,64	2,32	0,045
Пол (мужской)	10	3,88	0,48		

Уровень значимости проведенной статистической оценки $p = 0,045$, что ниже 0,05 и, что, в свою очередь, позволяет отклонить нулевую гипотезу и принять альтернативную о значимости различий между результатами двух групп.

Далее необходимо было сравнить результаты работы каждой из метрик с результатами субъективной оценки.

Первыми были рассмотрены результаты работы метрики VMAF. Анализ результатов оценки видеофайла с помощью метрики VMAF, приведенных в таблице 4 показал, что при предельных искажениях яркости и контраста данная метрика выдает некорректный результат.

Для подтверждения некорректной работы рассматриваемой метрики, было проведено субъективное сравнение кадров (см. табл. 5) при пониженных яркости и контрасте. Пример рассмотренных кадров представлен на рисунке 1.

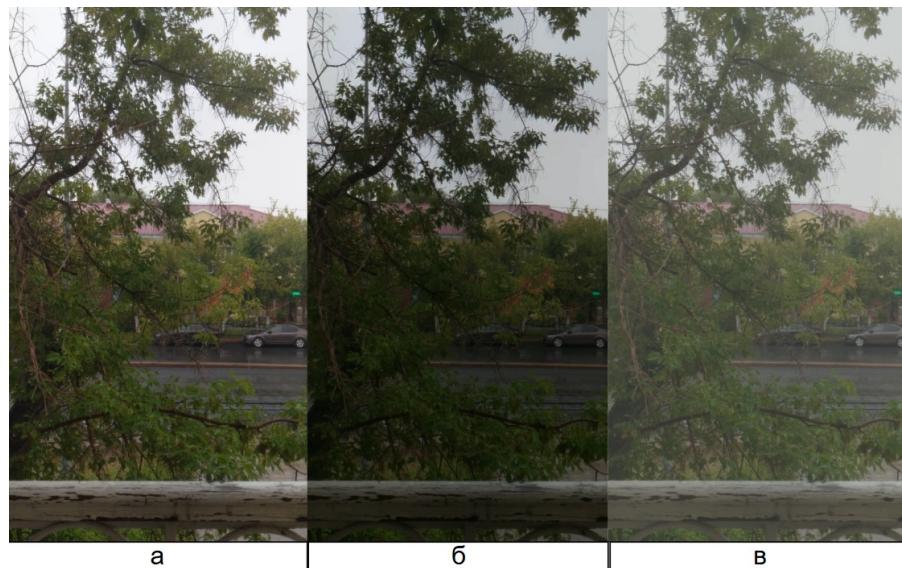


Рисунок 1 - Сравнение кадров видео:

а – эталонное видео; б – видео, с пониженной на 50 единиц яркостью; в – видео, с пониженным на 50 единиц контрастом

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.7>

Субъективная оценка искаженных кадров (б, в) в сравнении с эталонным кадром (а) позволяет сделать вывод, что качество искаженных кадров значительно ниже, чем качество эталонного. Однако объективная оценка с помощью метрики VMAF показывает результат, соответствующий оценке «отлично» (см. табл. 4). На основе полученных результатов можно сделать вывод, что показатели метрики VMAF являются необъективными для искажений по параметрам яркости и контраста, что делает применение данной метрики на указанных параметрах нецелесообразным.

Далее необходимо было рассмотреть результаты работы метрики MSE. Учитывая, что метрика MSE является частью метрики PSNR, можно предположить, что данные метрики должны давать сходные результаты, исходя из этого, необходимо обратиться к таблице 4. Полученные данные показывают, что рассматриваемые метрики, выдают одинаковый результат, на искажении всех параметров. Кроме того, результаты оценки текстуры и структуры с помощью данных метрик подтверждаются результатами субъективной оценки (см. табл. 5), проведенной на кадрах с добавленными шумами и зернистостью (см. рисунок 2).

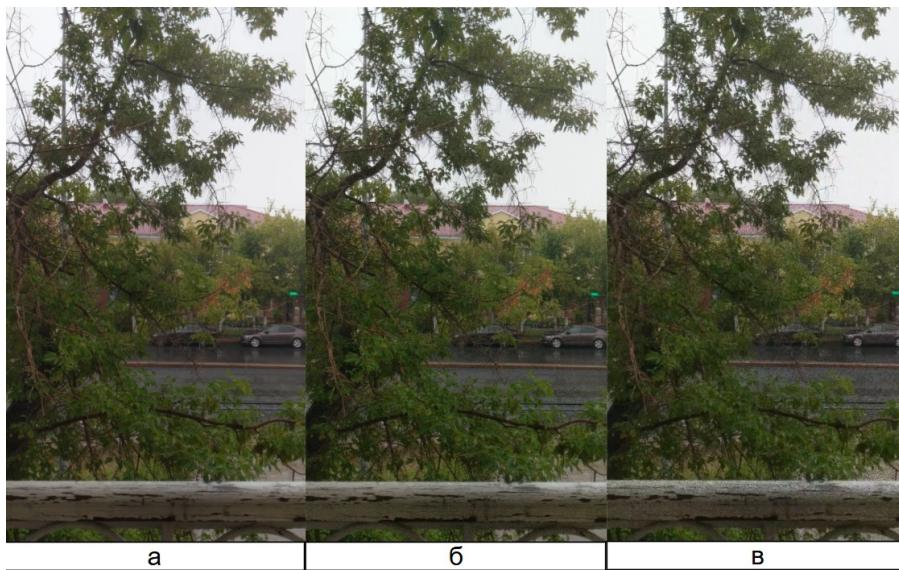


Рисунок 2 - Сравнение кадров видео:

а – эталонное видео; б – видео, с добавленными шумами; в – видео, с добавленной зернистостью

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.8>

Сравнение кадров видео с результатами таблиц позволяет сделать вывод, что оценки, полученные с помощью метрик MSE и PSNR, являются корректными и сходными, что дает возможность применять только одну из рассмотренных метрик при оценке таких искажений видео, как «зашумленность» и «зернистость». Из вышесказанного следует, что для дальнейшего исследования необходимо рассмотреть метрику PSNR.

На следующем этапе исследования были рассмотрены результаты работы метрики NQI. Анализ результатов оценки видеофайла с помощью метрики NQI показал, что данная метрика, практически не реагирует на изменения параметра «контраст». При любых изменениях данного параметра оценка метрики остается равной уровню «отлично», что существенно отличается от результатов субъективной оценки (см. табл. 5).

Кадры с измененными значениями параметра «контраст», предлагаемые для субъективной оценки представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 - Сравнение кадров видео:

а – эталонное видео; б – видео, с пониженным на 50 единиц контрастом; в – видео, с пониженным на 25 единиц контрастом; г – видео, с повышенным на 25 единиц контрастом; д – видео, с повышенным на 50 единиц контрастом

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.9>

Субъективная оценка исследуемых кадров, показала, что ни один из них не соответствует оценке «отлично». Исходя из вышесказанного, метрика NQI не рассматривается для включения в итоговую группу метрик, предлагаемых для комплексной оценки, соответствующей восприятию человека.

Следующим этапом является сравнение работы метрик SSIM и MSAD. Сравнение проводилось по трем основным параметрам: яркость, контраст, цветность. Данные таблицы 4 показывают, что метрики MSAD и SSIM дают различные оценки на всех искажениях рассматриваемых параметров.

Для проверки работы метрик была проведена субъективная оценка (см. табл. 5). Кадры с измененными значениями контраста, яркости и цветности, предлагаемые для субъективной оценки представлены на рисунке 4.

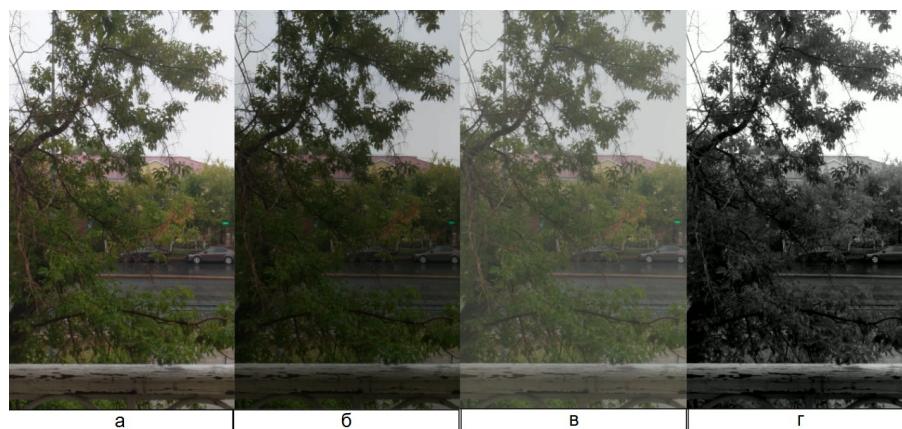


Рисунок 4 - Сравнение кадров видео:

а – эталонное видео; б – видео, с пониженной на 50 единиц яркостью; в – видео, с пониженным на 50 единиц, контрастом; г – видео, с пониженной на 50 единиц, цветностью

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.119.10>

Результаты проведенной субъективной оценки показали лучшее соответствие с метрикой SSIM, что позволяет отказаться от метрики MSAD в пользу метрики SSIM.

В завершение исследования в результирующий набор была добавлена метрика DIST. Данный выбор обосновывается тем, что DIST единственная из представленных метрик, алгоритм действия которой использует сверточную нейронную сеть. Также данная метрика использует подход к оценке качества видео, основанный на имитации человеческого зрения [19].

В результате проведенного экспериментального отбора метрик оценки качества видео, получен следующий результирующий набор метрик: SSIM, PSNR, DIST.

Заключение

Развитие мобильных устройств разного вида: телефон, планшет, ноутбук, приводит к росту популярности просмотра видеоконтента на экране данных устройств. Качество изображения на экране характеризует сохранность (целостность) оригинальных свойств передаваемого контента и является субъективной характеристикой, поскольку, в значительной степени, зависит от восприятия зрителя.

В ходе проведенного экспериментального исследования, был получен итоговый набор метрик, включающий в себя метрики SSIM, PSNR, DIST. По мнению авторов статьи, именно данные объективные метрики могут позволить провести оценку качества видео, адекватную субъективному, визуальному восприятию зрителя, просматривающего видеоконтент на экране мобильного устройства, поскольку ориентированы на свойства человеческого зрения: яркость, контраст, цветность и зашумленность.

Для дальнейшего подтверждения, вывода, сделанного выше, предполагается проведение верификации обозначенного набора метрик с помощью субъективной оценки.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- Грибунин В. Объективные метрики для оценки качества видеокодеков: сайт / В. Грибунин. — URL: http://www.tzmagazine.ru/jpage_print.php?uid3=273 (дата обращения: 10.01.2024).
- Рекомендации ITU к объективному качеству видео: офиц. сайт. — URL: https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial_opavc.pdf (дата обращения: 10.01.2024).
- Круглов А. Интерпретация объективных метрик качества видео / А. Круглов. — URL: https://www.elecard.com/ru/page/article_interpretation_of_metrics (дата обращения: 10.01.2024).
- Показатели качества видео. — URL: <https://www.gumlet.com/glossary/video-quality-metrics/> (дата обращения: 10.01.2024).
- ITU Recommendation No.910 on subjective video quality. — URL: <https://www.itu.int/rec/t-rec-p.910> (accessed: 10.01.2024)
- Subjective and Objective Quality Assessment for Volumetric Video Compression / E. Zerman, P. Gao, C. Ozcinar [et al.] // Electronic Imaging. — 2019. — Vol. 31. — P. 323.1–323.6. — DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2019.10.IQSP-323

7. Можаева А.И. Эталонная объективная метрика оценки качества видео совместимая с PSNR учитывая частотные и периферическую характеристики зрения человека / А.И. Можаева, И.В. Власюк, А.М. Поташников [и др.] // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. — 2021. — Т. 11, № 2. — С. 44–54. — EDN TQJSHP.
8. Danier D. A Subjective Quality Study for Video Frame Interpolation / D. Danier, F. Zhang, D. Bull // LicenseCC BY-NC-SA 4.0. — 2022. — DOI: 10.48550/arXiv.2202.07727
9. Danier D. BVI-VFI: A video quality database for video frame interpolation / D. Danier, D. Zhang, D. Bull // IEEE Transactions on Image Processing. — 2023. — Vol. 32. — P. 6004–6019. — DOI: 10.1109/TIP.2023.3327912
10. Mozhaeva A. Analysis of current video databases for quality assessment / A. Mozhaeva, E. Vashenko, V. Selivanov [et al.] // T-Comm. — 2022. — Vol. 16, № 2. — P. 48–56.
11. Никин В.В. Обзор методов и средств оценки качества кадров в видеофайле / В.В. Никин, С.В. Гарина // International journal of Professional Science. — 2020. — № 11. — С. 56–63. — EDN RPVVGR.
12. Карташевский В.Г. Оценка качества видео. Метрики MPQM, SSIM, NQM / В.Г. Карташевский, Н.Р. Мамышев // Развитие современных технологий: Теоретические и практические аспекты: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. (Петрозаводск, 05 мая 2022 г). — Петрозаводск: Новая Наука, 2022. — С. 30–34. — EDN JZOVKV.
13. Li D. Quality assessment of in-the-wild videos / D. Li, T. Jiang, M. Jiang // Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia. — 2019. — P. 2351–2359. — DOI: 10.1145/3343031.335102
14. Оценка качества видео. Субъективная оценка качества видео. — URL: <https://www.ixbt.com/divideo/estimate1.shtml> (дата обращения: 10.01.2024).
15. Яркость и контрастность. Влияние и важность при выборе монитора. — URL: <https://4k-monitor.ru/about/howto/yarkost-i-kontrastnost/> (дата обращения: 10.01.2024).
16. Li Z. Toward A Practical Perceptual Video Quality Metric / Z. Li, A. Aaron, I. Katsavounidis, A. Moorthy, M. Manohara. — URL: <https://medium.com/netflix-techblog/toward-a-practical-perceptual-video-quality-metric-653f208b9652> (accessed: 10.01.2024).
17. Li Z. VMAF: The Journey Continues / Z. Li, C. Bampis, J. Novak, A. Aaron, K. Swanson, A. Moorthy, J. De Cock. — URL: <https://medium.com/netflix-techblog/vmaf-the-journey-continues-44b51ee9ed12> (accessed: 10.01.2024).
18. Токтасынов С.Э. Анализ метрик для комплексного подхода к оценке качества видеофайла / С.Э. Токтасынов // ИТ. Наука. Креатив: Материалы I Международного форума: в 5-ти томах, Омск, 14–16 мая 2024 года. — Москва: Коллес, 2024. — С. 339–346. — EDN WZBUOZ.
19. DISTs metric. — URL: <https://github.com/dingkeyan93/DISTS> (accessed: 10.01.2024).
20. Грачева М.А. Субъективная оценка качества статических и видеоизображений: методологический обзор / М.А. Грачева, В.П. Божкова, А.А. Казакова [и др.] // Сенсорные системы. — 2019. — Т. 33, № 4. — С. 287–304.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gribunin V. Ob'ektivnye metriki dlja ocenki kachestva videokodekov: sajt [Objective metrics for video codec quality assessment: website] / V. Gribunin. — URL: http://www.tzmagazine.ru/jpage_print.php?uid3=273 (accessed: 10.01.2024). [in Russian]
2. Rekomendacii ITU k ob'ektivnomu kachestvu video: ofic. sajt [ITU recommendations on objective video quality: official website]. — URL: https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial_opavc.pdf (accessed: 10.01.2024). [in Russian]
3. Kruglov A. Interpretacija ob'ektivnyh metrik kachestva video [Interpretation of objective video quality metrics] / A. Kruglov. — URL: https://www.elecard.com/ru/page/article_interpretation_of_metrics (accessed: 10.01.2024).
4. Pokazateli kachestva video [Video quality metrics]. — URL: <https://www.gumlet.com/glossary/video-quality-metrics/> (accessed: 10.01.2024). [in Russian]
5. ITU Recommendation No.910 on subjective video quality. — URL: <https://www.itu.int/rec/t-rec-p.910> (accessed: 10.01.2024)
6. Subjective and Objective Quality Assessment for Volumetric Video Compression / E. Zerman, P. Gao, C. Ozcinar [et al.] // Electronic Imaging. — 2019. — Vol. 31. — P. 323.1–323.6. — DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2019.10.IQSP-323
7. Mozhaeva A.I. Jetalonnaja ob'ektivnaja metrika ocenki kachestva video sovmestimaja s PSNR uchityvajushhaja chastotnye i perifericheskuju harakteristiki zrenija cheloveka [Reference objective video quality metric compatible with PSNR considering frequency and peripheral characteristics of human vision] / A.I. Mozhaeva, I.V. Vlasjuk, A.M. Potashnikov [et al.] // DSPA: Voprosy primenenija cifrovoj obrabotki signalov [DSPA: Issues of Digital Signal Processing Application]. — 2021. — Vol. 11, № 2. — P. 44–54. — EDN TQJSHP. [in Russian]
8. Danier D. A Subjective Quality Study for Video Frame Interpolation / D. Danier, F. Zhang, D. Bull // LicenseCC BY-NC-SA 4.0. — 2022. — DOI: 10.48550/arXiv.2202.07727
9. Danier D. BVI-VFI: A video quality database for video frame interpolation / D. Danier, D. Zhang, D. Bull // IEEE Transactions on Image Processing. — 2023. — Vol. 32. — P. 6004–6019. — DOI: 10.1109/TIP.2023.3327912
10. Mozhaeva A. Analysis of current video databases for quality assessment / A. Mozhaeva, E. Vashenko, V. Selivanov [et al.] // T-Comm. — 2022. — Vol. 16, № 2. — P. 48–56.
11. Nikin V.V. Obzor metodov i sredstv ocenki kachestva kadrov v videofajle [Review of methods and tools for assessing frame quality in video files] / V.V. Nikin, S.V. Garina // International journal of Professional Science. — 2020. — № 11. — P. 56–63. — EDN RPVVGR. [in Russian]
12. Kartashevskij V.G. Ocenka kachestva video. Metriki MPQM, SSIM, NQM [Video quality assessment. MPQM, SSIM, NQM metrics] / V.G. Kartashevskij, N.R. Mamyshev // Razvitie sovremennoj tehnologij: Teoreticheskie i prakticheskie aspekty: sb. st. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Petrozavodsk, 05 maja 2022 g) [Development of modern technologies:

Theoretical and practical aspects: Proc. of the 2nd Int. Sci.-Pract. Conf. (Petrozavodsk, May 05, 2022)]. — Petrozavodsk: Novaja Nauka, 2022. — P. 30–34. — EDN JZOVKV. [in Russian]

13. Li D. Quality assessment of in-the-wild videos / D. Li, T. Jiang, M. Jiang // Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia. — 2019. — P. 2351–2359. — DOI: 10.1145/3343031.335102

14. Ocenna kachestva video. Sub"ektivnaja ocenna kachestva video [Video quality assessment. Subjective video quality assessment]. — URL: <https://www.ixbt.com/divideo/estimate1.shtml> (accessed: 10.01.2024). [in Russian]

15. Jarkost' i kontrastnost'. Vlijanie i vazhnost' pri vybore monitora [Brightness and contrast. Influence and importance when choosing a monitor]. — URL: <https://4k-monitor.ru/about/howto/yarkost-i-kontrastnost/> (accessed: 10.01.2024). [in Russian]

16. Li Z. Toward A Practical Perceptual Video Quality Metric / Z. Li, A. Aaron, I. Katsavounidis, A. Moorthy, M. Manohara. — URL: <https://medium.com/netflix-techblog/toward-a-practical-perceptual-video-quality-metric-653f208b9652> (accessed: 10.01.2024).

17. Li Z. VMAF: The Journey Continues / Z. Li, C. Bampis, J. Novak, A. Aaron, K. Swanson, A. Moorthy, J. De Cock. — URL: <https://medium.com/netflix-techblog/vmaf-the-journey-continues-44b51ee9ed12> (accessed: 10.01.2024).

18. Toktasynov S.E. Analiz metrik dlja kompleksnogo podhoda k ocenke kachestva videofajla [Analysis of metrics for a comprehensive approach to video file quality assessment] / S.E. Toktasynov // IT. Nauka. Kreativ: Materialy I Mezhdunarodnogo foruma: v 5-ti tomah, Omsk, 14–16 maja 2024 goda [IT. Science. Creativity: Proc. of the 1st Int. Forum: in 5 vols., Omsk, May 14–16, 2024]. — Moscow: Koloss, 2024. — P. 339–346. — EDN WZBUOZ. [in Russian]

19. DISTS metric. — URL: <https://github.com/dingkeyan93/DISTS> (accessed: 10.01.2024).

20. Gracheva M.A. Sub"ektivnaja ocenna kachestva staticheskikh i videoizobrazhenij: metodologicheskij obzor [Subjective assessment of static and video image quality: methodological review] / M.A. Gracheva, V.P. Bozhkova, A.A. Kazakova [et al.] // Sensornye sistemy [Sensory Systems]. — 2019. — Vol. 33, № 4. — P. 287–304. [in Russian]