

«УТВЕРЖДАЮ»

директор ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук,
профессор
А.И. АПТЕКАРЕВ

« 22 » мая 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного учреждения "Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук"
(ИПМ им. М.В.Келдыша РАН)
на диссертационную работу
Анциферовой Анастасии Всеволодовны

**«Методы проектирования и тестирования алгоритмов оценки качества обработки
и кодирования видеоданных»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 2.3.5 — «Математическое и программное обеспечение
вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

Диссертация Анциферовой А.В. посвящена исследованию и разработке алгоритмов оценки качества обработки и кодирования видео. Целью работы является разработка комплекса методик и методов для анализа эффективности, устойчивости и проектирования алгоритмов оценки качества видео.

Актуальность темы подтверждается широким использованием методов измерения качества видео для разработки алгоритмов обработки и кодирования видео. Качество видео измеряется с помощью субъективного тестирования, а также объективных методов, производящих оценку алгоритмически. Данные алгоритмы основаны на решении задачи регрессии, входными данными в которой являются изображения или кадры видео, а метками – эталонные оценки качества, полученные от человека. Разработка методики сравнения и анализа устойчивости регрессионных моделей актуальна с прикладной точки зрения для решения задач, связанных с проектированием алгоритмов оценки качества видео. Современные алгоритмы оценки качества видео используют подходы на основе машинного обучения и нейронных сетей, которые уязвимы к возмущениям во входных данных, в том числе к

сопоставительным атакам. Для разработки надежных алгоритмов оценки качества актуальной является задача исследования и создания методов сопоставительных атак на алгоритмы оценки качества видео.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Во введении сформулированы цель и задачи работы, обоснована их актуальность, научная новизна и практическая значимость.

Первая глава посвящена обзору области оценки качества видеоданных, в ней введены основные понятия и рассмотрены задачи, решение которых требуется для разработки точных и надежных алгоритмов объективной оценки качества видео. Задачи включают в себя методы тестирования точности и надежности алгоритмов оценки качества видео, а также проектирование таких алгоритмов в условиях нехватки обучающих данных.

Вторая глава посвящена разработке методики сравнения алгоритмов оценки качества кодированных видео. В новой методике предлагается использовать парные сравнения для получения эталонных оценок качества. Для предложенного метода доказана теорема о вероятностной гарантии ранжирования качества видео. Также в методике предлагается использовать кластеризацию по пространственно-временной сложности и сжатие видеокодеками новых стандартов для повышения репрезентативности искажений, возникающих при кодировании видео. Чтобы увеличить разнообразие артефактов кодирования, предлагается использовать две разные предустановки кодирования для всех видеокодеков и три целевых битрейта. На основе предложенной методики создан новый набор данных и проведено сравнение алгоритмов оценки качества видео, превосходящее существующие по количеству видео и методов.

В третьей главе предложены методы сопоставительных атак на алгоритмы оценки качества видео. Данные методы позволяют проводить анализ устойчивости алгоритмов оценки качества видео к возмущениям во входных кадрах, приводящих к повышению объективной оценки качества без повышения визуального качества. Данные виды сопоставительных атак могут встречаться при проведении открытых сравнений, использующих объективные алгоритмы оценки качества для ранжирования соревнующихся методов обработки и кодирования видео. В главе предложены методы атак на дифференцируемые и недифференцируемые алгоритмы оценки качества. Первый метод, предназначенный для дифференцируемых нереперенсных алгоритмов, основан на обучении универсальных возмущений. Для него доказана теорема о

приближении градиента предложенным методом; экспериментально показано, что предложенный подход обладает более высокой скоростью работы по сравнению с существующими методами при сопоставимом успехе состязательной атаки. Также в главе предложен метод атаки на недифференцируемые полнореференсные алгоритмы. Метод основан на использовании генетического алгоритма для оптимизации параметров обработки видео. Данный метод был первым опубликованным методом состязательной атаки на VMAF, и для его ускорения в главе описана модификация, использующая подход дистилляции для аппроксимации поведения функции VMAF. Проведено сравнение предложенных методов создания состязательных атак на примере атаки алгоритма оценки качества видео VMAF.

В четвертой главе предложен метод оценки качества стереофильмов, разработанный в условиях нехватки обучающих данных. В основном, существующие методы в данной области были посвящены оценке визуального качества, а не визуального дискомфорта, а также ранее исследователями не рассматривались стереоскопические искажения, возникающие при съемке. Предложенный метод заключается в решении задачи регрессии путем оптимизации функции потерь Хьюбера с L2-регуляризацией. Предлагаемыми признаками являются низкоуровневые характеристики стереоскопических видео, такие как величина диспаратности, временная и пространственная сложность, скорость движения объектов в кадре и скорость движения камеры. Обучение метода проводилось с использованием предложенного нового набора данных, полученного путем проведения серии субъективных экспериментов, в которых приняли участие 302 респондента. Полученный набор данных был опубликован. Экспериментальная оценка на трех наборах данных показала, что предложенный метод превзошел нейросетевой аналог по корреляции с эталонными оценками.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана новая методика тестирования алгоритмов оценки качества видео и предложен новый набор видео для оценки качества кодирования. Получена вероятностная гарантия применимости модели Брэдли-Терри для оценки качества видео. С помощью предложенной методики проведено сравнение 41 алгоритма оценки качества видео.
2. Разработаны новые методы состязательных атак на алгоритмы оценки качества видео: на основе универсальных возмущений, обработки видео и создания

аппроксимации. Экспериментальная оценка их эффективности показала, что методы превосходит аналоги по скорости работы.

3. Разработан метод оценки качества стереоскопического видео, основанный на оценке стереоскопических искажений, и предложен новый набор данных, содержащий 22200 эталонных оценок. Экспериментальная оценка предложенного метода показала, что предложенный метод превзошел нейросетевой аналог, показав корреляцию 0,88 с эталонными оценками.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что разработаны:

1. новая методика сравнения алгоритмов оценки качества видео, включающая подготовку и разметку видео. Теорема о вероятностной гарантии применимости модели Брэдли-Терри для оценки качества видео позволяет оценить вероятность получения однозначного ранжирования качества видео в ходе субъективных экспериментов.
2. новые методы состязательных атак на алгоритмы оценки качества видео: метод состязательной атаки с помощью обучения универсального возмущения, метод состязательной атаки путем оптимизации обработки видео генетическим алгоритмом, метод состязательной атаки путем создания аппроксимации не дифференцируемого алгоритма оценки качества видео. Теорема о методе состязательной атаки на основе обучения универсального возмущения позволяет оценить точность приближения градиента предложенным методом.

Практическая значимость. Предложенные в данной работе методы были реализованы в виде программных инструментов. Создан новый набор видео и эталонных оценок качества, превосходящий существующие по количеству различных типов кодирования (47 видеокодеков, 2486 видео, более 766000 субъективных оценок). Получены положительные отзывы на проведенное сравнение алгоритмов оценки качества видео от компаний Huawei, Tencent, Яндекс, Google (YouTube Media Algorithms) и других. После публикации сравнения получено несколько заявок на добавление новых алгоритмов оценки качества в сравнение от компаний и университетов, что подтверждает значимость новой методики и ценность полученного набора данных.

Предложенный метод состязательной атаки на алгоритм VMAF после публикации был внедрен разработчиками из Google в видеокодек libaom. Впоследствии

разработчики из Netflix выпустили улучшенную версию метода VMAF, которая более устойчива к данным состязательным атакам. Таким образом, предложенные методы состязательных атак привели к повышению устойчивости алгоритма оценки качества видео VMAF его разработчиками. Также соискателем был создан и опубликован новый набор стереоскопических видео и эталонных оценок их качества, превзошедший аналоги по количеству полученных субъективных оценок (302 зрителя и более 22000 субъективных оценок).

Результаты работы могут быть использованы для тестирования и проектирования методов оценки качества видео. Новая методика сравнения алгоритмов оценки качества видео будет полезна компаниям и научным группам, разрабатывающим алгоритмы обработки и кодирования видео. Методы состязательных атак могут использоваться для повышения устойчивости новых алгоритмов, которые впоследствии при использовании для разработки методов обработки видео могут обеспечить более высокое субъективное качество. Предложенный метод оценки качества стереофильмов может использоваться вместо субъективных экспериментов, проводимых во время производства стереоскопических фильмов, и позволит упростить поиск наиболее болезненных для зрителей сцен со стереоскопическими искажениями.

По оформлению и содержанию работы имеются следующие **замечания**:

1. В Главе 2 было бы полезно указать критерии сравнения предложенной методики с другими существующими методиками сравнения алгоритмов оценки качества видео.
2. В Главе 2 не приведено исследование зависимости результатов проведенного сравнения алгоритмов оценки качества видео от количества видео в тестовом наборе.
3. В Главе 3 дано описание метода тестирования устойчивости алгоритмов оценки качества видео к атакам, однако, для данного метода не приведены результаты экспериментальной оценки.
4. Во введении при описании актуальности поставленных задач приведена статистика видеотрафика. Было бы полезно дать аналогичные данные для стереоскопического видео.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертация имеет четкую структуру, хорошо оформлена, содержит значительное количество графиков, рисунков и схем. Автореферат достаточно полно

отражает содержание диссертации. Достоверность результатов подтверждается корректностью математических обоснований, большим объемом проведенных экспериментов и многочисленными апробациями работы на научных конференциях и семинарах. Результаты работы опубликованы в 17 работах, две из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, и две в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science.

Таким образом, можно сделать вывод, что диссертация Анциферовой Анастасии Всеволодовны «Методы проектирования и тестирования алгоритмов оценки качества обработки и кодирования видеоданных» является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком уровне, обладает научной новизной и практической значимостью и удовлетворяет всем требованиям ВАК п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а соискатель Анциферова Анастасия Всеволодовна заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Диссертационная работа и отзыв обсуждены и одобрены на заседании расширенного семинара направления «Программирование» им. М.Р.Шура-Бура Института прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН, присутствовало на заседании 18 чел., включая 4 докторов наук и 6 кандидатов наук. Протокол № 4 от 25.04.2024 г.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук".

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник,

и.о. зав.отделом «Компьютерная графика и вычислительная оптика»

ИПМ им. М.В.Келдыша РАН,

доктор физ.-мат. наук, профессор

В.А. Галактионов

Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., д.4

Электронная почта: office@keldysh.ru

Телефон: +7 499 978-13-14

ОКПО 02699381; ОГРН 1037739115787

ИИН/КПП: 7710063939/771001001