

УДК:004.932.4

МЕТОДИКА ОБЪЕКТИВНОГО СРАВНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МАТИРОВАНИЯ ВИДЕО

Ерофеев М.В., аспирант МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, лаборатория компьютерной графики, e-mail: merofeev@graphics.cs.msu.ru;

Гитман Ю.А., студент МГУ им. М. В. Ломоносова, e-mail: ygitman@graphics.cs.msu.ru;

Ватолин Д.С., к.ф.-м.н., с.н.с. МГУ им. М. В. Ломоносова, e-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru;

Федоров А.А., аспирант МГУ им. М. В. Ломоносова, e-mail: afedorov@graphics.cs.msu.ru.

OBJECTIVE VIDEO MATTING METHODS' COMPARISON TECHNIQUE

Erofeev M., Gitman Y., Vatolin D., Fedorov A.

Formally, matting is a problem of decomposition of image into foreground image, background image and foreground transparency map. Until now there was only common method of image matting comparison not applicable to video matting comparison. Moreover, authors of video matting methods either do not perform any objective evaluation or compare their method to one or two competitors.

In this paper we propose video matting methods' comparison technique by spatial error and temporal coherence. To get ground-truth for our test data set we employed chroma keying and designed stop-motion capture procedure. Finally, we show comparison results of 12 matting methods.

Keywords: video matting, trimap, objective quality estimation.

Ключевые слова: матирование видео, тернарная маска, объективная оценка качества.

Введение

Одной из ключевых задач, возникающих при редактировании и монтаже изображений и видеопоследовательностей, является построение карты прозрачности (матирования) объекта переднего плана для последующей замены фона, элементов фона или изменения положения объекта относительно фона.

Формальная постановка задачи матирования имеет следующий вид: разделить данное изображение I (рис. 1а) на изображение объекта переднего плана F (рис. 1г), изображение заднего плана B и карту прозрачности переднего плана α (рис. 1в) таким образом, чтобы было верно следующее уравнение:

$$I = \alpha F + (1 - \alpha)B. \quad (1)$$

Очевидно, что в таком виде задача является некорректно поставленной и имеет множество решений, включая тривиальное ($I=F$, $\alpha=1$). С целью найти единственное решение, имеющее высокое визуальное качество с точки зрения пользователей, авторы работ в данной области делают дополнительные предположения о

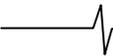
Задача матирования состоит в разделении данного изображения или видео на передний план, задний план и карту прозрачности переднего плана. До сегодняшнего дня существовала только общепринятая методика объективного сравнения алгоритмов матирования изображений, неприменимая для сравнения методов матирования видео. Авторы алгоритмов матирования видео сообщали лишь результаты сравнения их метода с одним или двумя аналогами на малом тестовом наборе или вовсе не сообщали таковых.

Данная работа предлагает методику сравнения алгоритмов матирования по их пространственной ошибке и стабильности результата во времени. А также содержит результаты проведенного сравнения ряда современных алгоритмов матирования видео и изображений. Для создания тестовой выборки была использована цветная электронная риппроекция, а также оригинальная методика на основе кукольной мультипликации.

непрерывности результатов [1], близких к нулю модулям градиентов F и B [2], а также используют дополнительные входные данные, например, тернарную маску [3]. Тернарная маска (рис. 1б) представляет собой карту, содержащую три уровня: гарантированный передний план (отмечен белым цветом), гарантированный задний план (отмечен черным цветом) и неизвестная область (отмечена серым цветом), для которой требуется решить задачу матирования. Пример тернарной маски изображен на рис. 1б.



Рис. 1. Пример результата работы алгоритма матирования: а-б – входные данные, в-г – выходные данные



Задача матирования видео является обобщением задачи матирования изображений на видеопоследовательности. Такое обобщение порождает дополнительные требования к алгоритмам матирования видео:

1. Результирующая карта прозрачности должна быть стабильна во времени, ввиду высокой чувствительности зрительной системы человека к различиям между соседними кадрами.

2. Алгоритм не должен требовать значительных усилий со стороны пользователя. Например, недопустимо требовать тернарную маску для каждого кадра обрабатываемой видеопоследовательности.

3. Алгоритм должен иметь адекватную объемам видеоданных вычислительную сложность.

Упомянутые выше требования сдерживали развитие алгоритмов матирования видео в сравнении с алгоритмами матирования изображений. Тем не менее, в последние годы имел место ряд достижений и в области матирования видео [4–8].

Стоит упомянуть, что появление открытого для новых участников сравнения алгоритмов матирования изображений [9] привело к существенному прогрессу в этой области. Тем не менее, ввиду дополнительных требований, предъявляемых к алгоритмам матирования видео, это сравнение не применимо для их оценки.

Данная статья предлагает решение двух задач, возникающих при проведении сравнения алгоритмов матирования: подготовка эталонных данных и выбор метода оценки качества.

Для создания эталонных карт прозрачности, необходимых для проведения объективного сравнения, было использовано две методики:

1. Цветная электронная риппроекция (chromakeying), широко используемая в киноиндустрии.
2. Кукольная мультипликация.

Обзор области исследования

Методы сравнения алгоритмов матирования

Открытое сравнение алгоритмов матирования изображений, предложенное в [9], оказало значительное влияние на данное исследование. Авторы этого сравнения предложили методику получения эталонных данных карт прозрачности, подготовили набор сложных тестовых изображений, предложили метрики качества, отвечающие особенностям субъективного восприятия изображений человеком в ряде частных случаев. Предложенное сравнение стало общепризнанным методом оценки качества алгоритмов матирования изображений.

Несмотря на отсутствие аналогичного сравнения алгоритмов матирования видео, некоторые авторы в своих работах проводят самостоятельную объективную оценку предлагаемого ими метода. Методики оценки, использованные в данных работах, могут быть классифицированы по следующим критериям:

Способ получения эталонных карт прозрачности

В работах [6, 7] тестовая выборка была сформирована путем наложения видеопоследовательностей с картой прозрачности, полученной с помощью электронной риппроекции, на новый фон. Авторы [10] использовали компьютерную графику для построения

синтетических видеопоследовательностей с известной картой прозрачности переднего плана.

Метрика пространственной ошибки

Для оценки пространственной ошибки исследуемых методов в работе [7] используется L_1 расстояние между построенной и эталонной картами прозрачности, а в [6, 10] – L_2 расстояние.

Метрика временной стабильности

Для оценки стабильности результата во времени в работе [6] использовано L_2 расстояние между производной по времени вычисленной и эталонной карты прозрачности. Производная по времени пространственной ошибки была применена в [7]. Авторы работ [10, 11], ввиду отсутствия в их распоряжении эталонных карт прозрачности, для оценки временной стабильности вычисляли отношение модуля производной по времени вычисленной карты прозрачности к модулю производной по времени входного изображения.

Алгоритмы, включенные в сравнение

Лишь в работе [6] предлагаемый метод сравнивается с конкурирующими подходами матирования видео. Авторы работ [7, 10, 11] проводят сравнение только с предлагаемым алгоритмом, примененным к каждому кадру независимо.

Стоит также отметить, что большинство статей, предлагающих алгоритмы матирования видео, не содержат результатов объективной оценки качества [4, 5, 8, 12–15].

Целью данной статьи является введение общепризнанного метода объективной оценки качества алгоритмов матирования видео.

Краткий обзор алгоритмов матирования видео

Методы, используемые в существующих алгоритмах матирования видео, призваны обеспечить стабильность получаемой карты прозрачности во времени, а также сократить объем дополнительных входных данных, требуемых от пользователя. Эти методы можно разделить на методы, явно требующие стабильность карты прозрачности во времени, и методы, требующие стабильность внутренних параметров алгоритма, используемых для получения карты прозрачности, то есть требующие стабильность карты прозрачности неявно.

Явные методы, используемые в алгоритмах матирования видео для обеспечения временной устойчивости:

Пространственно-временной матирующий лапласиан

Непосредственное обобщение матирующего лапласиана, первоначально предложенного в [1], было применено в [11], где были сформулированы требования на гладкость карты прозрачности для пространственно-временных окон фиксированной формы. Авторы работ [5–7, 10] применили пространственно-временные окна, форма которых определялась оптическим потоком, что позволило им добиться лучших результатов на видео с существенным движением матируемого объекта. Пространственно-временной нелокальный матирующий лапласиан был

предложен в [8], его авторы заменили требование локальной гладкости карты прозрачности требованием схожести каждого пиксела карты прозрачности с его k ближайшими соседями в пространстве текстур.

Темпоральная составляющая в оптимизируемой энергии

В работах [6,15] в функцию энергии, предложенную в [1], было добавлено дополнительное слагаемое, требующее близости карты прозрачности текущего кадра к карте прозрачности предыдущего кадра, деформированной согласно векторам оптического потока.

Темпоральная пост-фильтрация карты прозрачности

Авторы работы [4] использовали дистантное преобразование, применяемое независимо к каждой линии уровня карты прозрачности, для повышения временной стабильности результатов работы алгоритма матирования изображений. Эта методика впоследствии была использована в профессиональной программной среде для обработки видео Adobe After Effects;

Неявные методы обеспечения стабильности результата во времени:

В работах [4, 10, 12] вектора оптического потока были использованы для распространения тернарной маски ключевых кадров, размеченных пользователем, на всю видеопоследовательность.

Авторы работ [6, 7, 15] вместо независимого построения модели цветов переднего и заднего плана для локальных участков обрабатываемого кадра использовали пространственно-временную модель цвета, параметры которой сохраняются между соседними кадрами.

Набор тестовых видео

Карта, полученная с использованием кукольной мультипликации (рис. 2), имеет существенно большую детализацию.

Проведение объективного сравнения алгоритмов матирования требует наличия набора разнообразных тестовых видео, схожих по свойствам с видео, встречающимися в повседневной жизни. Для проведения количественных оценок качества алгоритмов также потребуются эталонные карты прозрачности для тестовых видео.

Для получения эталонных карт прозрачности были применены следующие методики:

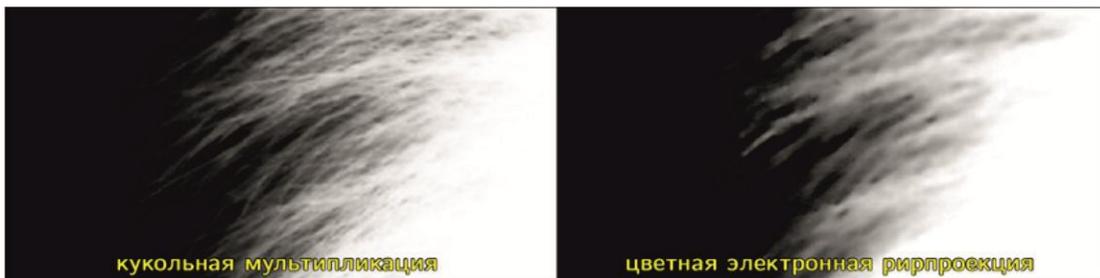


Рис. 2. Карты прозрачности одного и того же фрагмента объекта переднего плана, полученные с использованием методов цветной электронной риппроекции и кукольной мультипликации

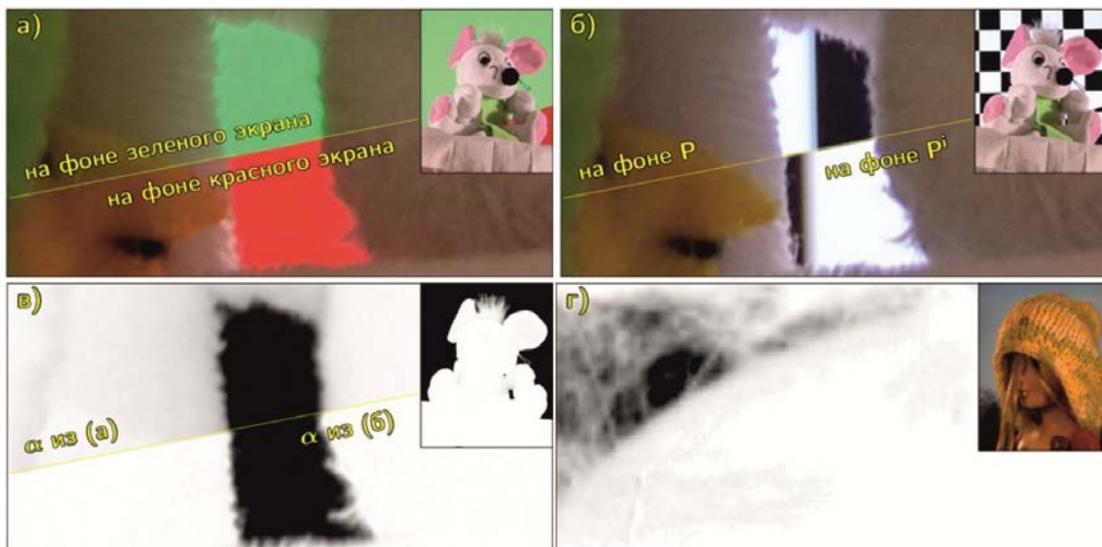


Рис. 3. Проблема влияния монитора на освещение объекта и предлагаемое решение.

- а) Плюшевая игрушка отражает свет от монитора. Верхняя половина изображения была получена при фотографировании объекта на зеленом фоне, нижняя – на красном. б) - Шахматная доска и ее инверсия одинаково освещают игрушку. Верхняя половина изображения была получена при фотографировании объекта на фоне шахматной доски, нижняя – ее инверсии. в) Карты прозрачности, вычисленные из пары изображений (а) (над чертой) и пары изображений (б) (под чертой). Использование шахматной доски и ее инверсии позволило устранить эффект ложной прозрачности. г) Пример проблемы отражений, приводящей к ложной прозрачности на эталонной карте прозрачности из [9]

Цветная электронная рирпроекция [16] позволила получить карты прозрачности для объектов произвольной формы, совершающих движения произвольной сложности.

Кукольная мультипликация позволила получить эталонные карты прозрачности более высокого качества, чем цветная электронная рирпроекция (рис. 2), для ограниченного набора объектов и движений.

Пять последовательностей с эталонной прозрачностью были получены с использованием цветной электронной рирпроекции, для получения других пяти последовательностей была применена кукольная мультипликация. Затем эти последовательности были наложены поверх видеопоследовательностей заднего плана с использованием эталонных карт прозрачности.

Тернарные маски были созданы путем применения операций отсечения по порогу и математической морфологии к эталонным картам прозрачности. Для изучения влияния ширины тернарной маски на качество работы алгоритмов матирования были подготовлены три типа тернарных карт, отличающихся шириной неизвестной области.

Цветная электронная рирпроекция

В данном исследовании были использованы пять последовательностей, снятых на фоне зеленого экрана, содержащих объекты с существенной долей полупрозрачных элементов (волосы, дым, быстро движущиеся объекты). Данные видео были предоставлены компанией Holly wood Camera Work [17]. Объекты переднего плана с соответствующими им картами прозрачности были получены с помощью программного инструмента The Foundry Key light [18]. На некоторых из взятых видеопоследовательностей зеленый экран был неравномерно освещен, в этих случаях для обеспечения высокого качества результата процедура рирпроекции применялась не ко всему кадру целиком, а независимо к небольшим его фрагментам.

Рирпроекция позволила получить карты прозрачности для широкого набора объектов реального мира. Тем не менее, эта процедура не может гарантировать, что полученная карта прозрачности близка к истинной карте прозрачности, так как данный метод основан на предположении, что цвет экрана не содержится в объекте переднего плана. Чтобы получить карты прозрачности, наиболее близкие к истинным, была использована техника кукольной мультипликации.

Кукольная мультипликация

Для получения карт прозрачности высокого качества была разработана следующая процедура: объект с полупрозрачными элементами помещался на специальную платформу перед жидкокристаллическим монитором. Положение платформы изменялось малыми дискретными шагами с помощью сервоприводов, подключенных к компьютеру. После каждого изменения положения платформы цифровая камера, расположенная напротив экспериментальной установки, производила серию снимков неподвижного объекта, после каждого снимка изображение на мониторе позади объекта сменялось на

следующее изображение из заранее подготовленного набора. В конце процедуры объект убирался с платформы, и камера производила фотографирование монитора, поочередно отображающего изображения из набора.

После описанной выше процедуры, согласно [9], значения прозрачности могут быть найдены из следующей системы:

$$\begin{cases} I_1 = \alpha F + (1 - \alpha) B_1, \\ \dots \\ I_n = \alpha F + (1 - \alpha) B_n, \end{cases} \quad (2)$$

где I_1, I_2, \dots, I_n – изображения объекта на фоне различных изображений B_1, B_2, \dots, B_n , αF – это неизвестное изображение объекта переднего плана на абсолютно черном фоне, и α – неизвестная карта прозрачности.

Важно отметить, что уравнения системы 2 содержат неявное предположение, что каждая фотография объекта была сделана в одинаковых условиях освещения. В условиях данного эксперимента это предположение нарушается, так как монитор является относительно сильным источником освещения в пределах данной сцены (рис. 3а), а изображение на нем меняется после каждого снимка. Ввиду вышесказанного, данный подход к поиску α приведет к появлению ложной прозрачности у фрагментов объекта переднего плана, отражающих свет, излучаемый монитором. В частности, такой эффект можно наблюдать на эталонных изображениях, используемых в сравнении алгоритмов матирования изображений [9] (рис. 3г).

Чтобы учесть изменения освещения, добавим в систему 2 новое слагаемое:

$$\begin{cases} I_1 = \alpha F + (1 - \alpha) B_1 + S(B_1 * h), \\ \dots \\ I_n = \alpha F + (1 - \alpha) B_n + S(B_n * h), \end{cases} \quad (3)$$

где S – цветное изображение и $B * h$ – свертка заднего плана с неизвестным линейным фильтром. Каждая точка S зависит от отражающих свойств объекта в этой точке, а также от положения этой точки относительно монитора. $B * h$ зависит от среднего цвета некоторой области изображения B , отображенного на мониторе. Введение нового слагаемого делает систему 3 неопределенной. Поэтому, в отличие от [9], помимо однотонных изображений заднего плана, были также использованы изображения шахматной доски. А именно, производилось последовательное фотографирование объекта напротив черно-белой шахматной доски P , а затем инвертированной шахматной доски P^i . Отметим, что P и P^i имеют почти одинаковый средний цвет, и поэтому верно $P * h \approx P^i * h$ (см. рис. 3б). Таким образом, имеем систему из двух уравнений

$$\begin{cases} I_1 = \alpha F + (1 - \alpha) P + S(P * h), \\ I_2 = \alpha F + (1 - \alpha) P^i + S(P^i * h) \end{cases} \quad (4)$$

Вычтем второе уравнение из первого и выразим α :

$$I_1 - I_2 \approx (1 - \alpha)(P - P^i) \Rightarrow \alpha \approx 1 - \frac{(I_1 - I_2, P - P^i)}{(P - P^i)^2} \quad (5)$$

Данная формула позволяет вычислить α везде, кро-

ме узких полос вдоль границ клеток, где разница между шахматной доской и ее инверсией мала ввиду оптического размытия, что приводит к близости $(P - P^i)^2$ к нулю. Чтобы обойти эту проблему, мы дополнительно снимаем объект на фоне шахматных досок, сдвинутых на полклетки влево, вниз и по диагонали, а также их инверсий. Таким образом, для каждого пиксела получаем хотя бы одну систему уравнений, в которой $(P - P^i)^2$ существенно отличается от нуля. Это позволяет найти значение прозрачности в каждой точке, выбирая систему с наибольшим значением $(P - P^i)^2$.

Тем не менее, вычислив α , невозможно однозначно найти F из системы (4). Наиболее простым способом получить F – найти $\alpha F + S(P * h)$ из системы (4) и считать его примерно равным αF . К сожалению, такой метод приведет к появлению неестественного свечения около границ объекта из-за неоднородности S вблизи границ.

Для устранения этой проблемы производится дополнительное фотографирование объекта на фоне однотонных изображений, что позволяет найти F из системы (3) с использованием ранее вычисленной карты прозрачности α , полагая $B_i * h \approx B_i$, ввиду однородности фона.

Описанная выше процедура позволяет вычислить F , α и S для каждого кадра тестовой видеопоследовательности.

Для подготовки тестов и проведения измерений в рамках предлагаемого сравнения используется только F и α . Тем не менее, S может быть использована для повышения визуального качества изображений переднего плана, помещенных на новый фон путем эмуляции влияния освещения новой сцены на цвет объекта.

Объективное сравнение

В проведенное сравнение вошли как методы матирования видео, так и методы матирования изображений (примененные независимо к каждому кадру). Каждый метод поочередно применялся к тестовым видео из подготовленного ранее набора, в качестве дополнительных данных методу предоставлялась тернарная маска. Все методы, вошедшие в сравнение, требовали тернарную маску для каждого кадра. Полученное изображение переднего плана и карта прозрачности затем сравнивались с эталонными данными с целью объективной оценки качества результата.

Основной областью применения алгоритмов матирования является перенос объекта переднего плана на новый фон. Несмотря на это, в сравнении, проведенном в [9], учитывается лишь близость карты прозрачности к эталону. Это ведет к тому, что качество изображения на новом фоне, которое можно получить с помощью испытываемого метода, оценивается лишь косвенно. Тем не менее, оценить качество изображения на новом фоне для произвольного фона является нетривиальной задачей.

Рассмотрим новый фон (B) как случайную величину с равномерным распределением на отрезке $[0;1]$. Тогда

новое изображение I' , полученное в результате наложения извлеченного переднего плана F' с использованием карты прозрачности α на новый фон, будет функцией этой случайной величины. Пусть также α и F – эталонные карта прозрачности и передний план соответственно. В таком случае математическое ожидание среднеквадратического отклонения полученного изображения на новом фоне от эталонного можно вычислить по формуле:

$$E[I - I']^2 = E[\alpha F + (1 - \alpha)B - \alpha' F' - (1 - \alpha')B]^2 = (\alpha F - \alpha' F' + \frac{\alpha' - \alpha}{2})^2 + \frac{(\alpha' - \alpha)^2}{12}. \quad (6)$$

В рамках данного сравнения значение, вычисленное по приведенной выше формуле и нормированное на число неизвестных пикселей на тернарной маске, используется для оценки пространственной ошибки метода матирования на тестовом видео. В табл. 1 приведены результаты сравнения методов матирования по величине пространственной ошибки.

Важным требованием, предъявляемым к алгоритмам матирования видео, является также стабильность результата во времени. Чтобы оценить стабильность результата во времени, была применена следующая гипотеза: пок кадровое значение пространственной ошибки у стабильной во времени видеопоследовательности должно оставаться почти постоянным. Тогда оценить стабильность во времени метода можно как дисперсию значений его пок кадровой ошибки. В табл. 2 приведены результаты сравнения методов по этому параметру. Интересно отметить, что алгоритм матирования видео, примененный в профессиональной среде обработки видео Adobe After Effects [19], и алгоритм матирования изображений, на котором он основан [20], заняли первое и второе место в сравнении по обоим параметрам.

Дополнительно был проведен анализ зависимости значения пространственной ошибки алгоритмов матирования от ширины неизвестной области тернарной маски (см. рис. 4). Стоит отметить, что методы (Bayesian Matting [3], Robust Matting [20], Shared Matting [21]), основанные на сэмплировании цветов переднего и заднего плана из известных областей тернарной маски, менее устойчивы к увеличению ширины неизвестной области, чем методы (Closed Form [1], Learning Based [22], KNN Matting [23], Nonlocal Matting [24]), основанные на интерполяции карты прозрачности в неизвестную область.

Открытое онлайн сравнение

Для упрощения доступа к результатам проведенного объективного сравнения, а также для обеспечения возможности включать в сравнение новые алгоритмы, был подготовлен сайт <http://videomattng.com/>. Сайт содержит графики и таблицы, отражающие качество работы методов согласно различным метрикам качества. Карты прозрачности и объекты переднего плана, вычисленные с использованием методов, вошедших в сравнение, доступны для просмотра с использованием специального видео проигрывателя, поддерживающего одновременный просмотр входных и выходных данных, а также их увеличенных фрагментов.

Таблица 1. Результаты сравнения алгоритмов матирования по величине пространственной ошибки (вычисленной по формуле 6).

Метод	Ср. место	Рирпроекция					Кукольная мультипликация				
		№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
Robust Matting [20]	3.1	0.117	0.121	0.102	0.231	0.155	0.184	0.168	0.154	0.055	0.137
Refine Edge [19]	3.5	0.094	0.142	0.134	0.326	0.099	0.171	0.142	0.133	0.058	0.163
Comprehensive Sampling [25]	4.5	0.138	0.186	0.129	0.351	0.176	0.165	0.227	0.155	0.049	0.089
Shared Matting [21]	5.0	0.133	0.183	0.109	0.244	0.168	0.202	0.203	0.157	0.070	0.127
Bayesian Matting [3]	6.1	0.140	0.193	0.063	0.300	0.129	0.277	0.175	0.233	0.121	0.308
Learning Based [22]	6.3	0.171	0.165	0.243	0.432	0.195	0.163	0.261	0.121	0.059	0.112
Closed Form [1]	6.6	0.173	0.162	0.243	0.432	0.192	0.165	0.252	0.121	0.058	0.114
Sparse coded matting [26]	6.7	0.150	0.220	0.177	0.330	0.187	0.188	0.235	0.169	0.060	0.108
KNN Matting [23]	8.3	0.155	0.394	0.513	0.270	0.161	0.378	0.220	0.254	0.079	0.136
Spectral Matting [27]	8.6	0.212	0.336	0.078	0.409	0.153	0.324	0.228	0.344	0.081	0.396
Nonlocal matting [24]	9.5	0.142	0.343	0.309	0.482	0.158	0.340	0.234	0.232	0.154	0.352
Weighted Color [28]	9.8	0.210	0.286	0.201	0.447	0.341	0.271	0.415	0.266	0.074	0.153

Таблица 2. Результаты сравнения алгоритмов матирования по стабильности результата во времени (дисперсия покадровой величины пространственной ошибки, вычисленной по формуле 6).

Метод	Ср. место	Рирпроекция					Кукольная мультипликация				
		№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
KNN Matting [23]	2.6	0.004	0.025	0.005	0.006	0.004	0.003	0.005	0.002	0.003	0.016
Robust Matting [20]	3.9	0.009	0.014	0.003	0.013	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.020
Refine Edge [19]	4.8	0.003	0.020	0.018	0.009	0.004	0.006	0.006	0.003	0.005	0.016
Comprehensive Sampling [25]	5.2	0.011	0.015	0.007	0.015	0.006	0.003	0.006	0.003	0.004	0.018
Learning Based [22]	5.3	0.018	0.013	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.003	0.005	0.018
Closed Form [1]	5.5	0.019	0.013	0.008	0.006	0.007	0.008	0.005	0.003	0.005	0.018
Shared Matting [21]	5.5	0.010	0.022	0.003	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.006	0.021
Sparse coded matting [26]	6.5	0.011	0.022	0.009	0.014	0.008	0.004	0.006	0.002	0.004	0.020
Bayesian Matting [3]	7.7	0.012	0.031	0.008	0.009	0.004	0.008	0.006	0.006	0.013	0.018
Weighted Color [28]	10.1	0.015	0.021	0.028	0.022	0.021	0.026	0.015	0.005	0.007	0.025
Nonlocal matting [24]	10.2	0.016	0.030	0.065	0.013	0.016	0.012	0.012	0.007	0.012	0.021
Spectral Matting [27]	10.7	0.027	0.099	0.018	0.010	0.024	0.012	0.012	0.032	0.009	0.071

Сайт также содержит инструкции для желающих протестировать разработанный ими алгоритм матирования видео, а также ссылки на тестовые видеопоследовательности.

На каждом видео из тестового набора пространственная ошибка измерялась независимо. В качестве

дополнительных входных данных методам предоставлялась узкая тернарная маска. Среднее место, которое метод занимает в каждом тесте, указано во второй колонке. Жирным шрифтом выделен лучший результат по каждому тесту.

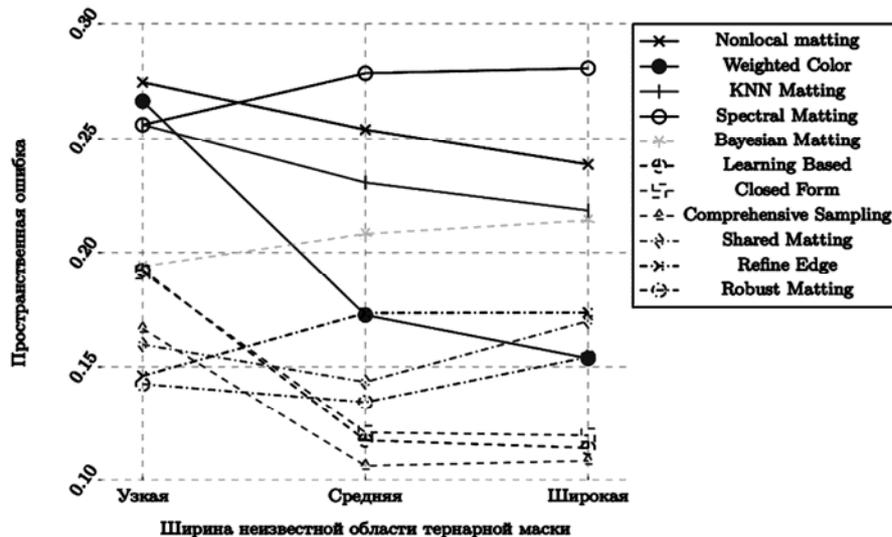


Рис. 4. Влияние ширины области, отмеченной как неизвестная на тернарной маске (рис. 16), на величину пространственной ошибки (вычисленной по формуле 6), нормированной на число неизвестных пикселей

Заключение

В рамках данной работы была предложена оригинальная методика получения эталонных карт прозрачности, превосходящая по качеству методику, примененную в [9]. С использованием этой методики, а также с использованием цветной эталонной рирпроекции, были подготовлены 10 тестовых видео с эталонными картами прозрачности. В статье предложены методы оценки пространственной ошибки и временной стабильности алгоритмов матирования. С помощью данных методов было проведено объективное сравнение существующих алгоритмов матирования видео и изображений. Результаты проведенного сравнения были помещены на интерактивный сайт <http://videomattng.com> для облегчения их анализа.

Основным направлением дальнейшего исследования является проведение экспериментов по субъективной оценке качества методов матирования с использованием репрезентативной выборки респондентов. Результаты таких экспериментов могут быть использованы для верификации предложенных методов объективной оценки, а также для разработки новых методов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №15-01-08632 а.

Литература

1. Levin A., Lischinski D., Weiss Y. A closed-form solution to natural imagematting // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*. – 2008. – Vol. 30, no. 2. – P. 228–242.
2. Poisson matting / Jian Sun, Jiaya Jia, Chi-Keung Tang, Heung-Yeung Shum // *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. – 2004. – Vol. 23, no. 3. – P. 315–321.
3. A bayesian approach to digital matting / Yung-Yu Chuang, Brian Curless, David H. Salesin, Richard Szeliski // *Computer Vision Pattern Recognition (CVPR)*. – Vol. 2. – 2001. – P. II–264–II–271.
4. Bai X., Wang J., Simons D. Towards temporally-coherent video matting // *International Conference on Computer Vision (ICCV)*. – 2011. – P. 63–74.
5. Sindeev M., Konushin A., Rother C. Alpha-flow for video matting // *Asian Conference on Computer Vision (ACCV)*. – 2013. – P. 438–452.
6. Temporally coherent and spatially accurate video matting / Ehsan Shahrian, Brian Price, Scott Cohen, Deepu Rajan // *Computer Graphics Forum*. – 2014. – Vol. 33, no. 2. – P. 381–390.
7. Video matting via opacity propagation / Zhen Tang, Zhenjiang Miao, Yanli Wan, Dianyong Zhang // *The Visual Computer*. – 2012. – Vol. 28, no. 1. – P. 47–61.
8. Choi I., Lee M., Tai Y.-W. Video matting using multi-frame nonlocal matting laplacian // *European Conference on Computer Vision (ECCV)*. – 2012. – P. 540–553.
9. A perceptually motivated online benchmark for image matting / Christoph Rhemann, Carsten Rother, Jue Wang et al. // *Computer Vision Pattern Recognition (CVPR)*. – 2009. –

P. 1826–1833.

10. Lee S.-Y., Yoon J.-C., Lee I.-K. Temporally coherent video matting // *Graphical Models*. – 2010. – Vol. 72, no. 3. – P. 25–33.

11. Spatio-temporally coherent interactive video object segmentation via efficient filtering / Nicole Brosch, Asmaa Hosni, Christoph Rhemann, Margrit Gelautz // *Pattern Recognition*. – Vol. 7476. – 2012. – P. 418–427.

12. Video matting of complex scenes / Yung-Yu Chuang, Aseem Agarwala, Brian Curless et al. // *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. – 2002. – Vol. 21, no. 3. – P. 243–248.

13. Apostoloff N., Fitzgibbon A. Bayesian video matting using learnt image priors // *Computer Vision Pattern Recognition (CVPR)*. – Vol. 1. – 2004. – P. I–407–I–414.

14. Corrigan D., Robinson S., Kokaram A. Video matting using motion extended grabcut // *European Conference on Visual Media Production (CVMP)*. – 2008. – P. 3–3(1).

15. Video snapcut: Robust video object cutout using localized classifiers / Xue Bai, Jue Wang, David Simons, Guillermo Sapiro // *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. – 2009. – Vol. 28, no. 3. – P. 70:1–70:11.

16. Мамросенко К.А., Гиацинтов А.М. Метод рирпроекции в подсистеме визуализации тренажерно-обучающей системы // *Программные продукты и системы*. 2014. №4.

17. Hollywood camera work. – <http://www.hollywoodcamera.com/greenscreenplates.html>. – Accessed: 2015-01-03.

18. Keylight. – <http://www.thefoundry.co.uk/products/plugins/keylight/>. – Accessed: 2015-01-03.

19. <http://www.adobe.com/en/products/aftereffects.html>.

20. Wang J., Cohen M. F. Optimized color sampling for robust matting // *Computer Vision Pattern Recognition (CVPR)*. – 2007. – P. 1–8.

21. Gastal E. S., Oliveira M. M. Shared sampling for real-time alpha matting // *Computer Graphics Forum*. – 2010. – Vol. 29, no. 2. – P. 575–584.

22. Zheng Y., Kambhampettu C. Learning based digital matting // *International Conference on Computer Vision (ICCV)*. – 2009. – P. 889–896.

23. Chen Q., Li D., Tang C.-K. KNN matting // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*. – 2013. – Vol. 35, no. 9. – P. 2175–2188.

24. Lee P., Wu Y. Nonlocal matting // *Computer Vision Pattern Recognition (CVPR)*. – 2011. – P. 2193–2200.

25. Improving image matting using comprehensive sampling sets / E. Shahrian, D. Rajan, B. Price, S. Cohen // *Computer Vision Pattern Recognition (CVPR)*. – 2013. – P. 636–643.

26. Johnson J., Rajan D., Cholakkal H. Sparse codes as alpha matte // *British Machine Vision Conference (BMVA)*. – Vol. 32. – 2014. – P. 245–253.

27. Levin A., Rav Acha A., Lischinski D. Spectral matting // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*. – 2008. – Vol. 30, no. 10. – P. 1699–1712.

28. Shahrian E., Rajan D. Weighted color and texture sample selection for image matting // *Computer Vision Pattern Recognition (CVPR)*. – 2012. – P. 718–725.