

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Факультет вычислительной математики и кибернетики

Кафедра интеллектуальных информационных систем

Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа

Фетисов Юрий Геннадиевич

Система полуавтоматической коррекции портретных изображений

Курсовая работа

Научный руководитель:

к.ф.-м.н. Владимир Фролов

Научный консультант:

ведущий программист, Кристина Зипа

Москва, 2019

Оглавление

1 Введение	3
2 Постановка задачи	4
3 Обзор методов	5
3.1 Ретушь веснушек на основе примеров	5
3.2 Супер-разрешение лица через детекцию кожи	6
3.3 Адаптивный контроль границ	6
3.4 Редактирование лица с контролем границ	7
3.5 Платформа послойного улучшения портретов	8
3.6 Выводы	8
3 Предложенный метод	10
3.1 Подготовка фотографии	10
3.2 Морфологические изменения лица	12
3.3 Тональная коррекция лица	14
4 Результаты работы	16
5 Заключение	18
Список литературы	19

1 Введение

Практически с самого появления фотографии люди ищут способы улучшения снимков. Во времена пленочной фотографии ретушью занимались фотографы и проявители, используя различные физико-химические методы. Затем, когда мы перешли в цифровую эпоху, им на смену пришли компьютерные программы, самой известной из которых является Adobe Photoshop. В последние же годы основным средством фотографии стали мобильные устройства, в связи с чем появилась потребность в интерактивных мобильных приложениях. И вместе с этим на фоне развития технологий машинного обучения появились сервисы, улучшающие фотографии посредством нейронных сетей.

Одним из основных направлений фотографии является портретная фотография. Желание получиться на фото как можно красивее естественно для большинства людей. Поэтому, необходимы средства, корректирующие всевозможные проблемы лица «модели», как морфологические, так и тональные. Почти все приложения и сервисы, предоставляющие подобный функционал, либо ограничены в своем арсенале, либо страдают низким качеством работы, либо являются проприетарными. В данной работе создается система комплексного и гибкого улучшения портретных фотографий людей. Грамотно комбинируя несколько стандартных методов вычислительной фотографии и компьютерного зрения, предложенная система дает результаты, сравнимые по качеству с существующим в массовом доступе программным обеспечением.

2 Постановка задачи

Цель работы - создать систему, улучшающую портретные фотографии людей с использованием средств машинного обучения.

Входные данные - изображение X , не менее 10% которого занимает лицо человека.

Выходные данные - изображение Y , полученное из изображения X путем применения некоторых улучшений из следующего набора:

- Выравнивание и тональная коррекция кожи,
- Изменение размеров/формы частей лица (глаз, рта, носа),
- Изменение формы лица (сужение щек, коррекция формы подбородка).

В результате работы алгоритма должна быть сгенерирована новая фотография, не содержащая нежелательных искажений элементов лица и внешних областей

Также предложенный алгоритм должен работать не медленнее чем 2 секунды на одну фотографию на мобильном устройстве.

Для выполнения работы требуется решить следующие задачи:

- Провести обзор существующих методов, выбрать способ сегментации лиц и нахождения их ключевых точек с использованием машинного обучения
- Реализовать алгоритмы, осуществляющие коррекцию портретных фотографий на основе результатов сегментации и поиска ключевых точек
- Провести экспериментальную оценку качества результатов и скорости работы

3 Обзор методов

Большинство методов улучшения портретных фотографий можно разделить на следующие категории:

- Методы, основанные на обнаружении непосредственно дефектов
- Методы, основанные на маскированной коррекции зоны лица на фотографии
- Методы, основанные на морфологической коррекции лица

Далее будут представлены наиболее актуальные представители вышеперечисленных категорий.

3.1 Ретушь веснушек на основе примеров

Exemplar-based freckle retouching and skin tone adjustment (2019)

Целью данной работы [1] является реалистичное удаление пигментных пятен с кожи, как после лазерной терапии. Идея состоит в извлечении из изображения двух характеристик, считаемых попиксельным уровнем меланина и гемоглобина. На основе их значений определяются дефектные регионы. Эти характеристики изменяются желаемым образом, после чего изображение восстанавливается уже с исправленными дефектами.

Авторы работы собрали базу данных, содержащую изображения дефектов кожи различных людей до и после лазерной коррекции данных дефектов. Для вычисления значений гемоглобина и меланина изображение переводится в пространство Cr-CV (Chroma - Color Variation), в котором проводится анализ главных компонент. Веса при найденных главных компонентах и считаются искомыми характеристиками. Далее на основе пар изображений (До, После) вычисляются функции удаления пигментов как кусочно-линейные аппроксимации значений (кол-во пигмента, разница в кол-ве пигмента) по всем пикселям изображения. Кроме того, для каждого изображения также вычисляются среднее значение и стандартное отклонение в кол-ве пигмента в предположении что пигмент имеет нормальное распределение. На этапе работы алгоритма с новым изображением находятся дефекты кожи как замкнутые регионы со значением пигмента выше порога, определяемого средним и

стандартным отклонением пигмента. После чего к ним применяется взвешенное среднее функций удаления пигмента изображений из датасета, являющихся ближайшими соседями к обрабатываемому по среднему значению пигмента. После чего схожим образом применяется коррекция тона кожи: среди нескольких ближайших соседей к требуемому изображению берется взвешенные усредненные средние и дисперсия, и значения пигмента на требуемом изображении приводятся к данным значениям.

В контексте моей работы, данный метод является очень тяжеловесным, решая при этом относительно небольшую задачу.

3.2 Супер-разрешение лица через детекцию кожи

Improvement of face image super-resolution by high-precision skin color detection (2019)

Данная работа [2] представляет один из самых поздних подходов к созданию простого метода сегментации кожи на изображении.

Получив из разных фотографий 336 разных цветов кожи, авторы расположили эти точки в трехмерном RGB пространстве, после чего создали новое пространство Sab с осью S, наиболее близко к этим точкам проходящей. Затем рассматривается область изображения без сильных градиентов. В этой области пиксель считается пикселем кожи если его значение отличается от значений всех 8 своих соседей меньше чем на определенную величину, зависящую от среднего значения цвета области без градиентов. Этот шаг проводится несколько раз, пока область кожи не перестанет расти.

Данный метод использовался для контекстно-зависимого улучшения методов суперразрешения, поскольку обычно оно усугубляет недостаток кожи человека. Однако основанные на цвете методы сегментации давно показали свою неустойчивость, и может быть, годятся как надстройка над основным методом, но не годятся как основной метод сегментации.

3.3 Адаптивный контроль границ

Facial Skin Beautification Using Adaptive Region-Aware Masks (2014)

В данной работе [3] представляется метод сглаживания и тональной коррекции кожи, основанный на разделении изображения на карты гладкости, яркости и цвета и использовании гладких масок при коррекции изображения, контролирующей силу изменений в каждом пикселе.

Сначала изображение переводится в пространство Lab. Каналы a,b используются как карты цвета, а канал L сглаживается WLS фильтром. Сглаженный канал L становится картой яркости, а его разница с исходным L каналом становится картой гладкости (или наоборот, деталей). Далее находятся “наиболее важные” линии на лице, с использованием алгоритма нахождения ключевых точек Виолы-Джонса и алгоритма Кенни в канале яркости. Из данных карт получаются маски путем минимизации функции энергии, устроенной так, что чем ближе пиксель к “важной линии”, тем меньше будет значение маски в этом пикселе. Для карты гладкости используются все найденные линии, для цвета берутся во внимание контур лица, глаза и растительность, для светлоты - только контур лица. Далее, выбранные пользователем параметры изменений умножаются на данные маски и применяются к вышеуказанным картам, после чего восстанавливается итоговое изображение в пространстве RGB.

3.4 Редактирование лица с контролем границ

Multiple Facial Image Editing Using Edge-Aware PDE Learning (2015)

Данная работа [4] является своего рода переосмыслением предыдущей, расширяя область применения также на смену точки освещения лица и замену лиц.

Метод - так же, как и прошлая работа, использует разделение изображения на цвет, яркость и детали, а изменения контролируются попиксельными масками. Но в данной работе маски получают, решая дискретизированное уравнение диффузии, члены которого получают веса в зависимости от близости к границе или логарифмической яркости пикселя. Для каждого преобразования используется свой вариант функций весов и так же, как и в прошлой работе, своя детализация исходных границ для маски.

Обе последние работы опираются на решение сложных математических задач, которое сильно зависит от начального приближения и граничных условий. В ходе моей работы было выяснено, что более простые маски, также созданные на основе ключевых точек лица, дают результаты мало отличимые от представленных в данных работах для задач сглаживания и тональной коррекции кожи.

3.5 Платформа послойного улучшения портретов

Floor-Ladder Framework for Human Face Beautification (2018)

В данной работе [5] процесс сглаживания и тональной коррекции кожи рассматривается как процесс омоложения. Для этого из изображения вновь выделяется слой, отвечающий за детали, и авторы обучают нейросеть SLONN на слоях деталей людей разных возрастов. В результате модель способна “сглаживать” найденные детали, тем самым омолаживая кожу человека.

Также данная работа приводит форму лица к “каноническому” виду, используя маску Марквардта, приводя ключевые точки лица к ключевым точкам маски.

К сожалению, результаты омоложения, представленные в данной работе, не отличаются устойчивостью, в то время как качество морфинга было высоко. Потому в своей работе я использую идею морфинга лица по ключевым точкам, однако, предоставляя пользователю самому решать какие детали лица нуждаются в коррекции.

3.6 Выводы

В результате анализа предметной области было решено использовать нейросетевой подход к сегментации лица, как более устойчивый к сложным случаям расположения лица и скомбинировать его с масками, основанными на найденных ключевых точках лица. Для морфинга же лица используется метод, аналогичный работе [5], однако, с предоставлением пользователю самому решать какие детали лица нуждаются в коррекции.

3 Предложенный метод

Предложенный метод осуществляет наиболее распространенные типы коррекции портретных фотографий:

- Изменение размера глаз
- Изменение положения бровей
- Изменение толщины и длины носа
- Изменение формы губ
- Добавление улыбки
- Изменение ширины и длины лица
- Изменение положения подбородка
- Выравнивание (сглаживание) кожи лица
- Изменение тона кожи лица и губ
- Усиление контрастности черт лица

Таким образом, работу системы можно разделить на 3 части:

1. подготовка фотографии,
2. морфологическая коррекция лица,
3. тональная коррекция.

3.1 Подготовка фотографии

В коррекции портретных фотографий решающую роль играет точность сегментации лица и его частей. Для проведения необходимых действий необходимо точно вычислить положение частей лица (глаз, губ и т.д.), а также точно сегментировать весь регион лица, не задевая при этом окружающий фон. В решении этих задач довольно далеко продвинулось машинное обучение.

Для выделения ключевых точек лица использовался обученный ансамбль решающих деревьев [6], поставляемый библиотекой dlib. Данная модель находит на фотографии 68 точек (рис. 1):

- 17 точек на контуре лица от виска до виска
- По 5 точек каждой брови
- По 6 точек вокруг каждого глаза
- 4 точки на спинке носа и 5 под носом
- 20 точек, очерчивающие внешний и внутренний контуры губ

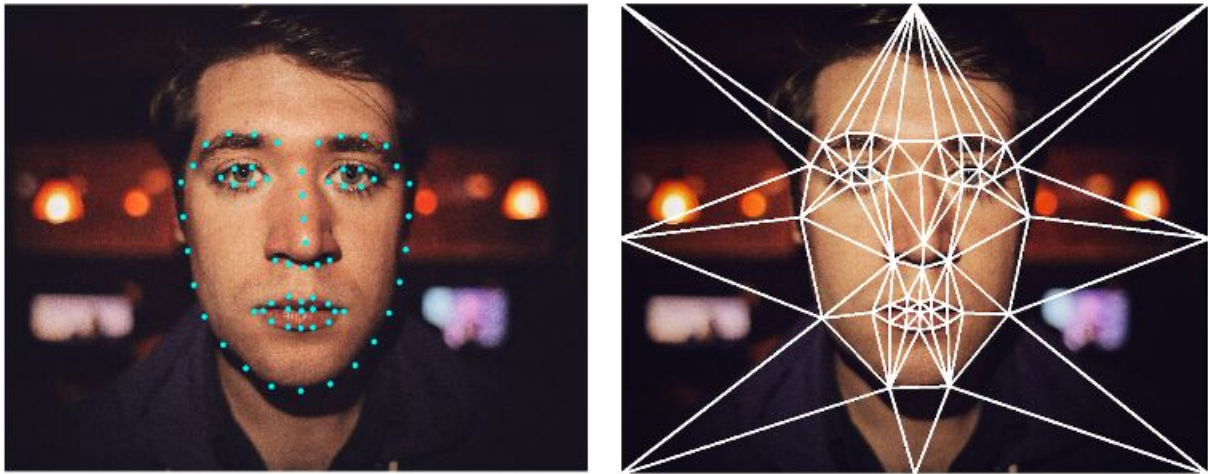


Рис. 1. Найденные ключевые точки лица и построенная по их подмножеству триангуляция Делоне изображения.

Для каждой из этих точек вычисляется направление, в котором она будет двигаться при изменении той или иной части лица. Они вычисляются как нормализованная сумма нормалей отрезков, соединяющих данную точку со своими соседями. Таким образом, каждая группа точек будет двигаться в «реалистичном» направлении, соответствующем положению лица.

Исключение составляют ключевые точки носа, для которых вычисляется направление, коллинеарное спинке носа.

Также, используя полученные координаты ключевых точек, мы можем получить приемлемо точные маски глаз и губ, а также предварительную маску нижней части лица.

Для выделения региона лица была использована нейросетевая модель, представленная в работе “Deep face segmentation in extremely hard conditions” [7], выделяющаяся среди других методов устойчивостью к нетривиальным положениям головы и наличию мешающих предметов, таких как очки. Соединяя результат работы этой модели с полученной ранее маской нижней части лица, мы дополняем ее верхней частью лица по линии волос и учитываем найденные нейросетью посторонние предметы, не являющиеся кожей лица (например, очки) (рис. 2).



Рис. 2. Сегментированное лицо человека на изображении.

В итоге, имея маски лица, глаз и губ, а также координаты ключевых точек частей лица и направления для их перемещения, мы можем приступать непосредственно к коррекции. Поскольку красота лица – понятие крайне субъективное, то метод предполагает, что виды изменений и их силу пользователь выбирает сам.

3.2 Морфологические изменения лица

Зная координаты ключевых точек лица и добавляя к ним 8 точек по краям фотографии, мы разбиваем ее на треугольники методом, известным как триангуляция Делоне. Таким образом, мы получаем наиболее «равномерное» разбиение, максимизирующее минимальный угол получившихся треугольников.

Затем, получив от пользователя вид изменения и его силу, вычисляются новые координаты ключевых точек выбранной части лица путем перемещения старых точек по вычисленным ранее направлениям. Для новых наборов координат находится новая триангуляция. Далее работа происходит с каждым треугольником разбиения по отдельности.

Зная новые и старые координаты вершин треугольника, вычисляется 3×3 матрица аффинного преобразования изображения, которая затем и применяется к каждому пикселю внутри старого треугольника. Таким образом, область изображения внутри треугольника линейно искажается, заполняя новый

треугольник. Поскольку новая триангуляция, как и старая, не имеет самоналожений, собрав все новые треугольники, как мозаику, мы получаем новое изображение, в котором какая-то часть лица изменила форму согласно желанию пользователя без видимых артефактов.

Разумеется, все операции проводятся в ограничениях, подобранных как эмпирически, так и диктуемыми положением окружающих частей лица. Например, нос не должен быть укорочен больше, чем вдвое, и при этом не должен «наезжать» на губы.

Для изменения размера глаз каждая точка на глазах движется в соответствии со своей нормалью. Ограничениями выступают расстояния от верха глаза до соответствующей брови и от внешних уголков глаз до контура лица.

Для перемещения бровей каждая их точка кроме крайних внешних перемещается в соответствии со своей нормалью. Ограничением снизу выступает расстояние от брови до глаза.

Для коррекции длины носа точки, соответствующие нижней горизонтальной линии носа, и его кончику, перемещаются вдоль прямой, заданной точками на спинке носа. Ограничением выступает расстояние от нижней точки носа до верхней губы.

Для коррекции толщины носа берутся точки, соответствующие крыльям носа и перемещаются вдоль отрезка между собой. В качестве ограничения используется длина этого отрезка.

Для изменения толщины губ используются точки возле центра на внешнем контуре верхней и нижней губы. Они перемещаются в соответствии со своими нормальями и в качестве ограничений выступают исходная толщина губ и расстояние от верхней губы до носа.

Для изменения ширины рта используются точки по краям губ, которые также перемещаются в соответствии со своими нормальями. В данном случае на ограничения влияет расстояние от уголков губ до контура лица.

Чтобы добавить человеку на изображении улыбку, с каждой стороны используется по 3 крайних точки верхней губы: одна на внешнем контуре, одна на внутреннем и самый уголок. Они перемещаются в соответствии с нормалью точки на внешнем контуре, причем расстояние перемещение уголка втрое больше расстояний для остальных точек.

Для коррекции ширины скул и челюсти соответствующим им точки перемещаются согласно своим нормальям, а в качестве источника ограничений вновь выступают расстояния до уголков глаз и губ соответственно.

Для регулирования высоты подбородка в соответствии со своими нормальями перемещаются точки левого и правого “углов” подбородка, а источником ограничений является расстояние до нижней губы.

3.3 Тональная коррекция лица

Для выравнивания или сглаживания кожи требуется фильтрация, не размывающая границы на изображении, но при этом сглаживающая мелкие неровности. По совокупности качества и скорости работы, для данной задачи была выбрана билатеральная фильтрация. Она проводится над изображением с наложенной маской лица с вырезанными из нее глазами, поскольку мы не хотим терять цветовую вариацию и блеск в глазах.

Для изменения кожи изображение переводится в пространство HSV. При осветлении мы понижаем значение канала насыщенности (S), тем самым делая кожу более бледной. Для затемнения же понижается значение канала яркости (V), как бы уменьшая освещенность лица. Для кожи лица и кожи губ в данном случае предусмотрена отдельная коррекция, так что их маски для этой операции также разделены.

Чтобы добавить контрастности чертам лица, используется метод Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization с разделением лица на 15 зон, 5 в высоту и 3 в ширину. В каждой из зон происходит свое собственное растяжение гистограммы яркости, вследствие чего мы

получаем локальное усиление контраста для каждой части лица. В результате мы получаем эффект хайлайтера.

Поскольку все операции происходят лишь над замаскированной частью изображения, для бесшовной вклейки измененных участков в исходное изображение края масок размываются гауссовым фильтром.

4 Результаты работы

Оценка красоты человеческого лица - вещь очень субъективная и плохо поддающаяся числовому измерению. Практически все работы по улучшению лиц так или иначе используют визуальную оценку качества.

Тем не менее, существует довольно много исследований, пытающихся описать красоту математически, и на их основе существует несколько числовых метрик оценки привлекательности лица.

Для сравнения и оценки я использую самый популярный онлайн сервис для обработки портретных фотографий PinkMirror, поскольку он обладает наиболее широким арсеналом инструментов как для коррекции кожи, так и для морфологических изменений лица, а также предоставляемую этим сервисом метрику.

Результаты работы моего метода и сервиса PinkMirror вместе с оценками можно увидеть на рис. 3.

Также я вручную обработал 5 фотографий с помощью PinkMirror, и средние результаты по метрике PinkMirror получились следующие:

PinkMirror	Предложенный метод
9,03	9,17

Достигается преимущество в основном за счет более широкого арсенала средств в предложенной системе, в частности, регулирование длины носа и более гибкая настройка контура лица и губ.

Также следует отметить, что благодаря выбранным методам сегментации и морфинга лица предложенная система устойчива в различных положениях лица и не теряет реалистичность изменений (рис. 4).

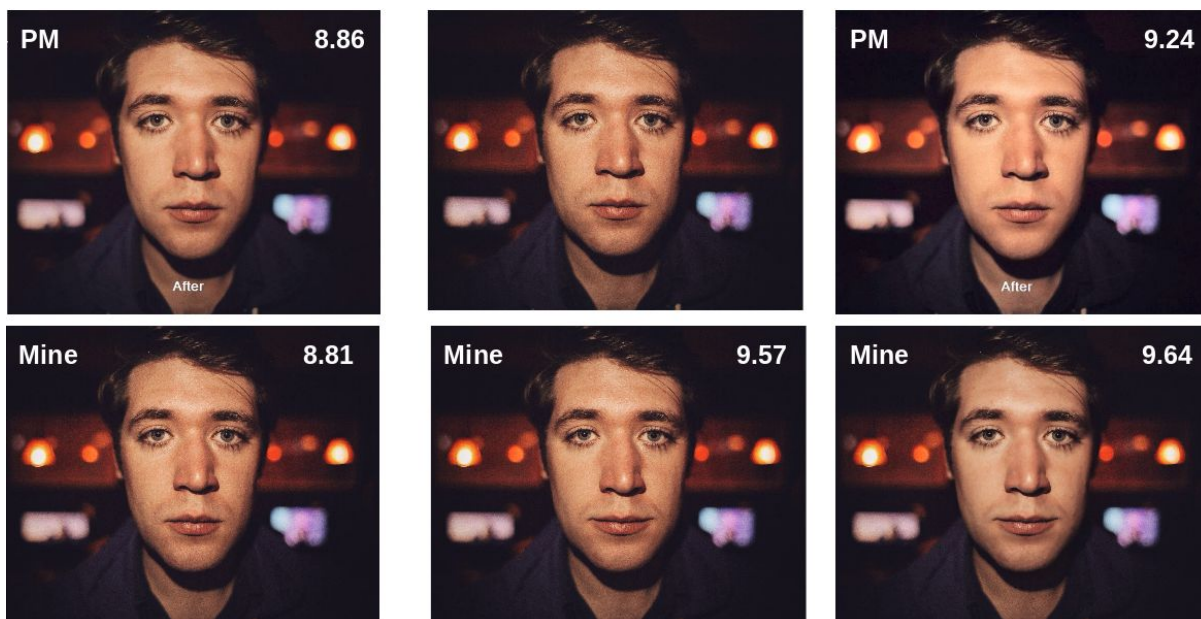


Рис. 3. Визуальное сравнение моего метода и работы PinkMirror и их оценки.



Рис. 4. Работа предложенного метода на изображении с повернутым лицом. И удлинение носа, и сужение контура лица, и увеличение глаз, и добавление улыбки проведены естественным образом и не вызвали артефактов.

5 Заключение

В ходе выполнения работы были получены следующие основные результаты:

- Найдены способы сегментации лица человека на фотографии и нахождения его ключевых точек
- Реализованы алгоритмы изменения формы лица и его частей, а также коррекции кожи
- Проведена численная оценка результатов работы системы

По итогу работы была создана система, улучшающая портретные фотографии людей с использованием средств машинного обучения. Алгоритм обнаруживает лицо человека на фотографии, сегментирует его и находит на нем 68 ключевых точек. После этого по желанию пользователя возможны изменение формы лица и отдельных его частей, а также коррекция кожи лица.

Список литературы

1. Lin T. Y. et al. Exemplar-based freckle retouching and skin tone adjustment //Computers & Graphics. – 2019. – Т. 78. – С. 54-63.
2. Kano K. et al. Improvement of face image super-resolution by high-precision skin color detection //International Forum on Medical Imaging in Asia 2019. – International Society for Optics and Photonics, 2019. – Т. 11050. – С. 110500F.
3. Liang L., Jin L., Li X. Facial skin beautification using adaptive region-aware masks //IEEE transactions on cybernetics. – 2014. – Т. 44. – №. 12. – С. 2600-2612.
4. Liang L. et al. Multiple Facial Image Editing Using Edge-Aware PDE Learning //Computer Graphics Forum. – 2015. – Т. 34. – №. 7. – С. 203-212.
5. Novskaya Y. et al. Floor-Ladder Framework for Human Face Beautification //International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts. – Springer, Cham, 2017. – С. 255-266.
6. Kazemi V., Sullivan J. One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2014. – С. 1867-1874.
7. Nirkin Y. et al. On face segmentation, face swapping, and face perception //2018 13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2018). – IEEE, 2018. – С. 98-105.