

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра Системного программирования

Карнаухов Валерий Евгеньевич

Разработка модуля анализа мелазмы на
лице по 3D моделям пациента

Курсовая работа

Научный руководитель:
аспирант Монькин С. А.

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

Введение	3
1. Обзор	5
1.1. Описание подхода анализа мелазмы	5
1.2. Описание алгоритма анализа мелазмы	6
1.3. Представление 3D моделей	8
1.4. Инструменты	9
2. Реализация	10
2.1. Реализация алгоритма анализа мелазмы	10
2.1.1. Реализация алгоритма из статьи и результаты его работы	10
2.1.2. Фильтрация	12
2.1.3. Модифицированный алгоритм анализа мелазмы .	15
2.1.4. Сравнение результатов работы алгоритма из ста- тьи и модифицированного алгоритма	16
2.2. Модуль анализа мелазмы	18
2.2.1. Взаимодействие с пользователем	18
2.2.2. Выделение участков на лице	18
2.2.3. Нахождение UV координат	19
2.2.4. Получение матриц пикселей	19
2.2.5. Графический интерфейс	20
Заключение	22
Список литературы	23

Введение

Кожный покров человека играет важную роль в его жизнедеятельности. Он является так называемым защитным барьером между внешним миром и организмом. Разрушение его целостности может привести к различным воспалительным процессам. Учитывая важнейшие функции кожи (такие, как иммунная, терморегулирующая, дыхательная и другие) — невозможно оставлять без внимания ее состояние.

Оценка структуры кожи необходима как в составе системных проверок состояния организма, так и при проявлении любыхстораживающих изменений: новообразований, шелушении, изменении цвета и т.д. К сожалению, не всегда бывает достаточно просто визуального осмотра пациента. Для более точного и качественного обследования кожи во многих медицинских центрах используют аппаратную диагностику.

Современные компьютерные технологии облегчают наблюдение за пациентом в процессе лечения. Они позволяют исследовать те параметры кожи, которые трудно изучить при внешнем осмотре: уровень пигментации, размер пор, рельеф кожной поверхности и другое. Результаты медицинского исследования, представленные на экране монитора, обеспечивают клиента подробной информацией о текущем состоянии здоровья в режиме реального времени. Также благодаря тому, что все данные заносятся в компьютер, можно отслеживать эффективность результатов лечения и контролировать любые изменения.

В данной работе описывается разработка модуля анализа мелазмы для системы планирования Phoenixcas 3D Viewer. В этой системе есть модули для реконструкции 3D объектов, визуализации и сравнения трехмерных моделей, симуляции операций, выполнения различных замеров и другие.

Постановка задачи

Целью данной работы является добавление в систему возможности анализа мелазмы на лице по трехмерным моделям пациента. Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

1. исследовать способы анализа мелазмы¹;
2. реализовать алгоритм, позволяющий оценивать степень тяжести мелазмы по 2D изображению;
3. разработать модуль анализа мелазмы на лице;
 - реализовать выделение областей текстуры по 3D модели;
 - реализовать отображение участков мелазмы.

¹Мелазма — нарушение пигментации кожи, проявляющееся в виде темных пятен на коже. Подробнее см. <https://en.wikipedia.org/wiki/Melasma> (дата обращения: 23.05.2017)

1. Обзор

1.1. Описание подхода анализа мелазмы

В 1994 году была предложена измерительная шкала степени тяжести мелазмы (Melasma Area and Severity Index, MASI) [2]. Индекс MASI вычислялся путем оценивания трех факторов: площадь пораженных участков, их темнота и гомогенность. При этом для более удобных и точных вычислений расчеты осуществлялись по отдельности для четырех областей лица: лоб, правая, левая скуловые области и подбородок, которые от общей площади поверхности лица составляют соответственно 30%, 30%, 30% и 10%.

Площади мелазмы каждого из этих четырех участков присваивалось числовое значение от 0 до 6:

0 = отсутствует;

1 = < 10%;

2 = 10–29%;

3 = 30–49%;

4 = 50–69%;

5 = 70–89%;

6 = 90–100%.

Темнота и гомогенность оценивались по шкале от 0 до 4:

0 = отсутствует;

1 = незначительно;

2 = умеренно;

3 = заметно;

4 = сильно.

Индекс MASI вычислялся путем суммы оценок степени темноты и гомогенности, умноженной на величину площади поражения для каж-

дой из четырех областей лица:

$$\begin{aligned} MASI = & 0.3A(f)[D(f) + H(f)] + \\ & + 0.3A(lm)[D(lm) + H(lm)] + \\ & + 0.3A(rm)[D(rm) + H(rm)] + \\ & + 0.1A(c)[D(c) + H(c)] \end{aligned} \tag{1}$$

где $A()$ — площадь мелазмы на участке;

$D()$ — темнота мелазмы на участке;

$H()$ — гомогенность мелазмы на участке;

f — лоб;

lm — левая скуловая область;

rm — правая скуловая область;

c — подбородок.

Однако в [2] было указано, что при исследовании обоснованности данного подхода некоторые компоненты MASI оказались проблематичными для вычислений. В частности, гомогенность была самой сложной составляющей для достоверной оценки кожи пациентов. Там же было проверено, что удаление ее из расчетов не изменяет надежности или точности измерения. Поэтому ее рекомендовалось исключить из результата вычислений.

Тем не менее даже при таком вычислении трудно было достичь согласованности результатов. На практике разные оценщики могли по-разному определять индекс MASI, поскольку это все основывалось на субъективной визуальной оценке участков поражения и их темноты.

Чтобы обойти это, в Сингапуре, в сотрудничестве между дерматологами из Национального центра кожи и программистами из Наньянского технологического университета, был разработан алгоритм анализа мелазмы [1].

1.2. Описание алгоритма анализа мелазмы

Алгоритм, представленный в [1], состоит из четырех шагов.

Первый шаг заключается в определении участвующих в анализе областей. Для достижения этой цели некоторая область нормальной кожи выбирается вручную. Она будет использоваться в качестве опорной точки. Далее рассчитывается различие цвета между каждой точкой и точкой отсчета. Если это значение больше определенного порогового значения, то точка автоматически классифицируется как не кожа. Используя данный метод, пиксели бровей, глаз, ноздрей попадают в набор, не относящийся к коже. Все пиксели, оказавшиеся в этом наборе, закрашиваются в черный цвет, и, таким образом, исключаются из рассмотрения.

На втором шаге выявленные участки сегментируются. Для определения границ между лбом, скуловыми областями и подбородком используются положения глаз, носа и рта в качестве ориентиров (рис. 1).

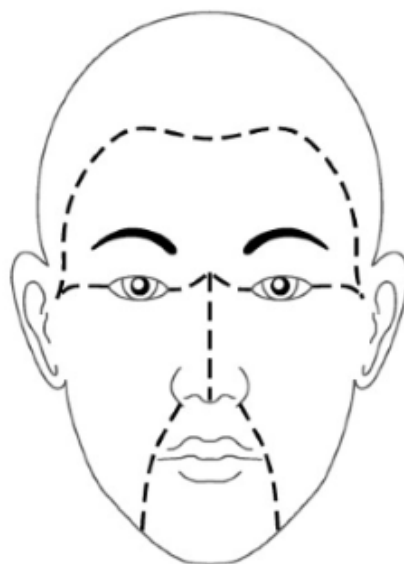


Рис. 1: Разделение лица на четыре области

Третий шаг состоит в обнаружении участков мелазмы. Это делается путем сравнения компонентов каждого пикселя и контрольного значения нормальной кожи. Любая точка, которая является более темной, чем эталонное значение, рассматривается как мелазма.

На четвертом шаге вычисляются площадь пигментации и темнота для каждой из областей. Площадь мелазмы подсчитывается как процент от общей площади поверхности области лица человека, которая

находится на рассмотрении, а после этого переводится по шкале, описанной выше. Темнота рассчитывается путем вычисления разницы компонент пикселей нормальной и пораженной кожи, а затем конвертируется по шкале от 0 до 4. Для того чтобы получить полную темноту в указанной области лица, вычисляется средняя темнота пикселей на участках мелазмы.

Далее вычисляется индекс MASI по формуле:

$$\begin{aligned} MASI = & 0.3A(f)D(f) + \\ & + 0.3A(lm)D(lm) + \\ & + 0.3A(rm)D(rm) + \\ & + 0.1A(c)D(c) \end{aligned} \tag{2}$$

1.3. Представление 3D моделей

В системе Phoenixcas 3D Viewer трехмерные модели представляют собой объекты, созданные с помощью полигональной сетки. Полигональная сетка — это набор вершин, ребер и граней². Множество граней, лежащих в одной плоскости, образуют полигон. Т.е. 3D модели состоят из полигонов, которые и определяют их форму. В системе в качестве полигонов выступают треугольники (рис. 2).

У каждой трехмерной модели есть своя текстура. Текстура — изображение, накладываемое на поверхность модели, отображающее совокупность свойств поверхности (цвет, прозрачность, рельефность и другое). Существует взаимно-однозначное соответствие между координатами на поверхности 3D модели (X, Y, Z) и координатами на текстуре (U, V), которое называется UV преобразованием, или разверткой³. И есть еще такое понятие, как UV карта. Она описывает, какая часть текстуры должна отображаться на каждом полигоне модели.

²Подробнее о полигональной сетке см. https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh (дата обращения: 23.05.2017)

³Подробнее о развертке см. https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping (дата обращения: 23.05.2017)

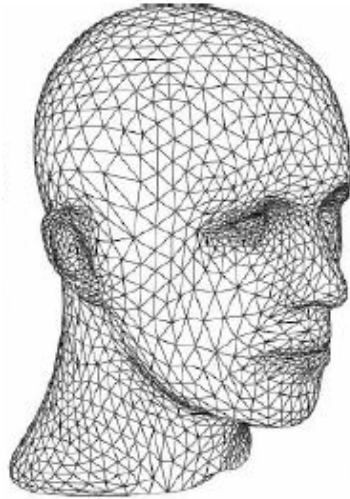


Рис. 2: Полигональная модель

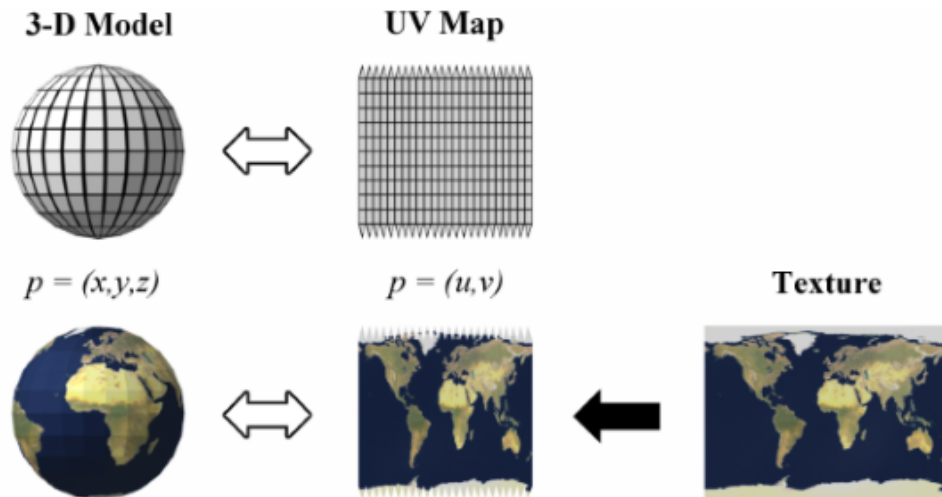


Рис. 3: Пример наложения текстуры на глобус

1.4. Инструменты

Проект, частью которого является данная работа, основан на графическом движке Ogre3D⁴. В качестве интегрированной среды разработки выступает Microsoft Visual Studio 2010⁵. Логика разрабатываемого решения реализуется с помощью языка C++ с использованием библиотеки алгоритмов компьютерного зрения OpenCV⁶. Графический интерфейс реализуется с помощью JavaScript и HTML.

⁴Основной сайт Ogre3D — <http://www.ogre3d.org> (дата обращения: 23.05.2017)

⁵Основной сайт Microsoft Visual Studio — <https://www.visualstudio.com> (дата обращения: 23.05.2017)

⁶Основной сайт OpenCV — <http://opencv.org> (дата обращения: 23.05.2017)

2. Реализация

2.1. Реализация алгоритма анализа мелазмы

2.1.1. Реализация алгоритма из статьи и результаты его работы

Алгоритм, описанный в [1], был реализован отдельно от модуля, как сторонняя библиотека. При его разработке использовались средства OpenCV.

Приведем примеры работы алгоритма. Программе на вход подавались четыре области лица разных людей (рис. 4). В дальнейшем эти изображения (слева направо) будем называть областями А, В, С, D соответственно. На каждой из них вручную были отмечены опорные точки. Результаты показаны на рис. 5 — рис. 8. Слева находится исходное изображение, по центру — детекция кожи, справа — выявление участков мелазмы. Для наглядности пиксели с темнотой 1, ..., 4 закрашивались соответственно в красный, зеленый, синий и фиолетовый цвета.

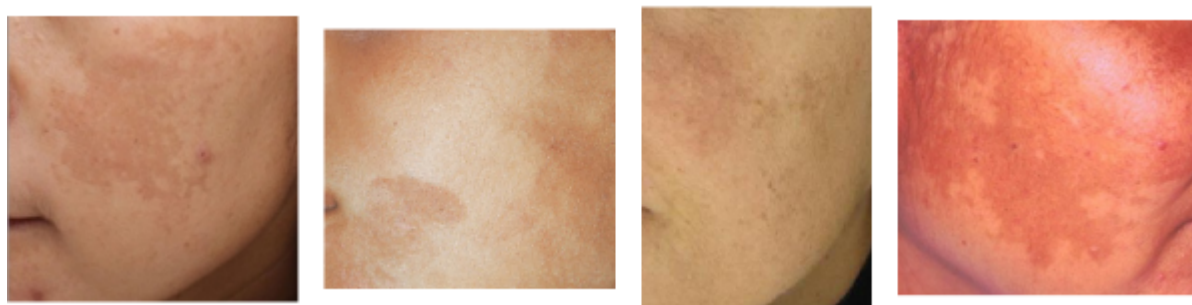


Рис. 4: Области для анализа



Рис. 5: Результат алгоритма для области А



Рис. 6: Результат алгоритма для области В

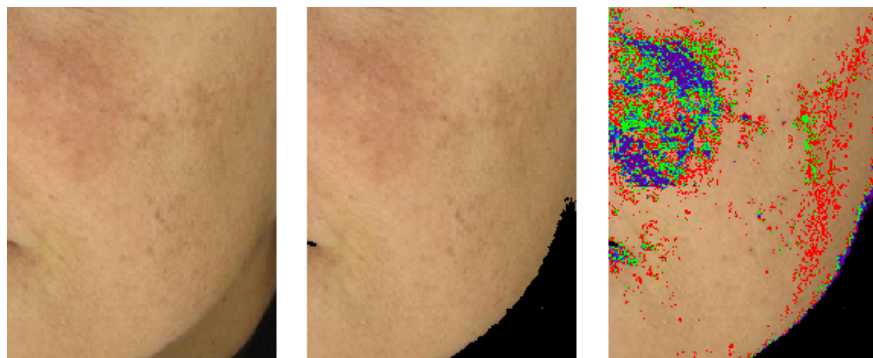


Рис. 7: Результат алгоритма для области С

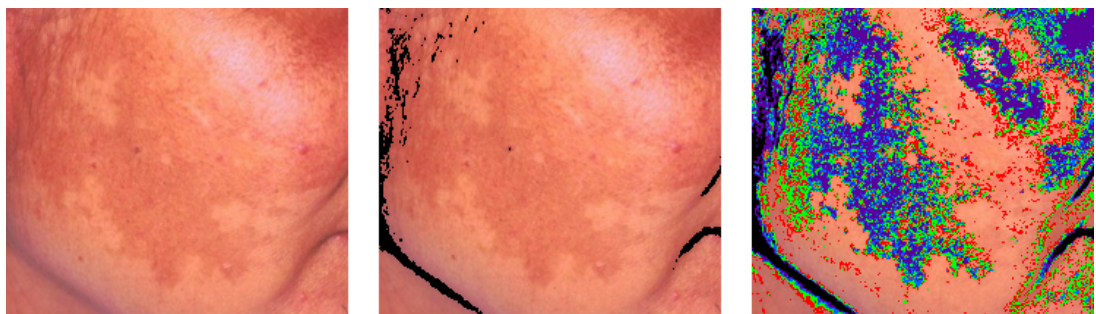


Рис. 8: Результат алгоритма для области D

На приведенных изображениях обнаружение мелазмы происходит некорректно. Это связано с тем, что кожа любого человека неравномерно и неодинаково окрашена, т.е. пиксели, взятые с районов здоровой кожи, могут достаточно сильно отличаться покомпонентно друг от друга. При этом также могут найтись участки мелазмы и нормальной кожи, на которых пиксели будут практически совпадать по своим значениям между собой. Вследствие этого не получается корректно детектировать мелазму.

Также необходимо отметить, что в статье [1] указано, что данный алгоритм апробировался только на людях с определенным типом кожи, и все фотографии делались при одинаковом освещении. Т.е. вводились дополнительные ограничения для правильной работы алгоритма.

С целью улучшения обнаружения мелазмы были рассмотрены различные способы фильтрации изображений.

2.1.2. Фильтрация

Одним из основных методов обработки изображений является фильтрация. Она представляет собой операцию, результатом которой является изображение, полученное из исходного путем применения некоторых правил [3]. Правила, задающие фильтрацию, называют фильтрами. Обычно цвет каждого пикселя итогового изображения определяется цветами пикселей, находящихся в некоторой его окрестности на исходном изображении.

Для детекции мелазмы на изображениях были применены различные фильтры, в том числе фильтры Гаусса, Собеля, Лапласа, увеличение/уменьшение контрастности, насыщенности, яркости, разделение изображения на каналы и т.д.

Лучший результат обнаружения мелазмы был получен при применении фильтра CLANE⁷ к каналу А в цветовом пространстве LAB⁸. CLANE используется для повышения контрастности изображений. Он

⁷Определение CLANE — https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_histogram_equalization (дата обращения: 23.05.2017)

⁸Определение LAB — https://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space (дата обращения: 23.05.2017)

разбивает изображение на прямоугольные плитки одинакового размера и для каждой из них создает свою функцию перераспределения уровня интенсивности пикселей. При этом для того, чтобы выравнивание интенсивностей не приводило к усилению шума в однородных областях, используется ограничение контраста. Оно локализует усиление шума, устанавливая максимальное значение.

Таким образом, фильтр CLAHE на вход принимает два параметра: ограничение контраста и размер сетки, которая определяет количество плиток в строке и столбце. Для детекции мелазмы пороговое значение контраста было выбрано 8, а размер сетки — (1, 1).

Более подробно, фильтр для детекции мелазмы состоит из следующих шагов:

1. изначальное изображение сконвертировать из цветовой модели BGR⁹ в цветное пространство LAB;
2. разделить его на одноканальные (L, A, B) изображения;
3. применить фильтр CLAHE к каналу A;
4. склеить эти каналы в трехканальное изображение;
5. сконвертировать результат из LAB обратно в BGR.

Для наглядности на рис. 9 приведена схема этой последовательности действий.

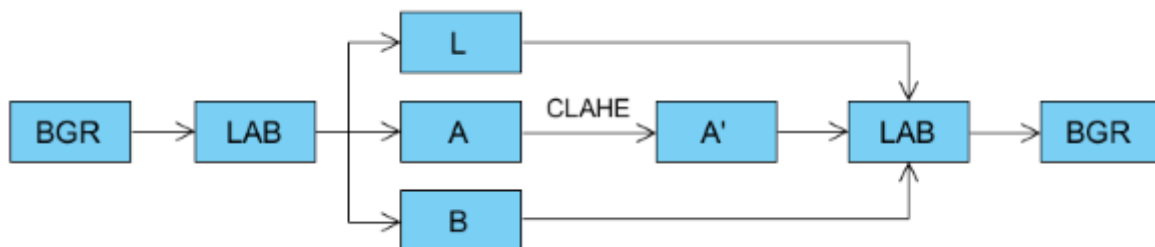


Рис. 9: Схема получения фильтра для распознавания мелазмы

⁹BGR — это то же самое, что и RGB, только порядок каналов обратный. Определение RGB — https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model (дата обращения: 23.05.2017)

После выполнения данной последовательности шагов участки с мелазмой имеют более выраженный красный цвет (рис. 10 — рис. 13).

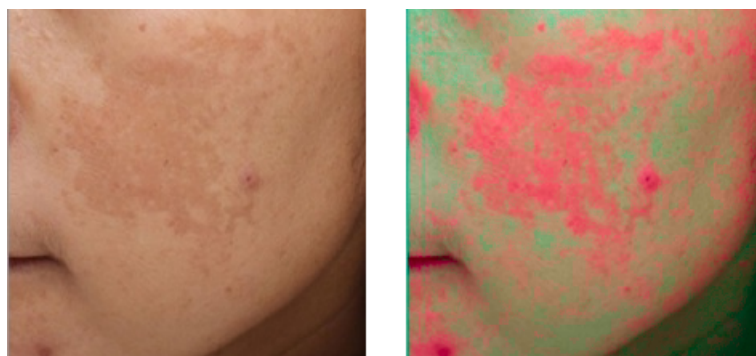


Рис. 10: Фильтр для области А

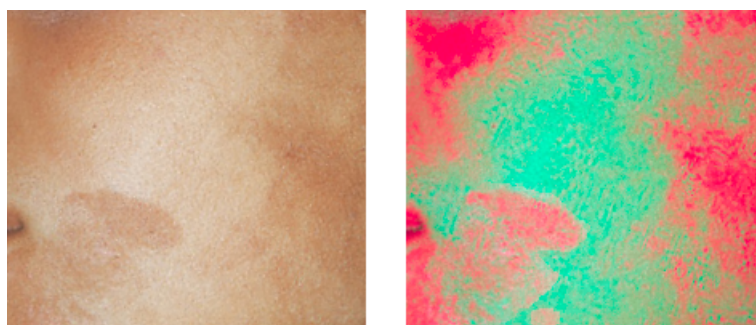


Рис. 11: Фильтр для области В

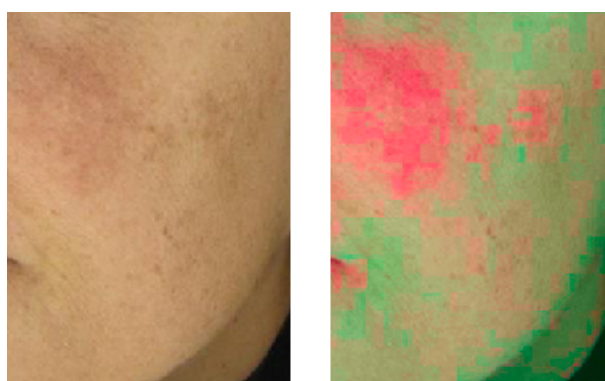


Рис. 12: Фильтр для области С

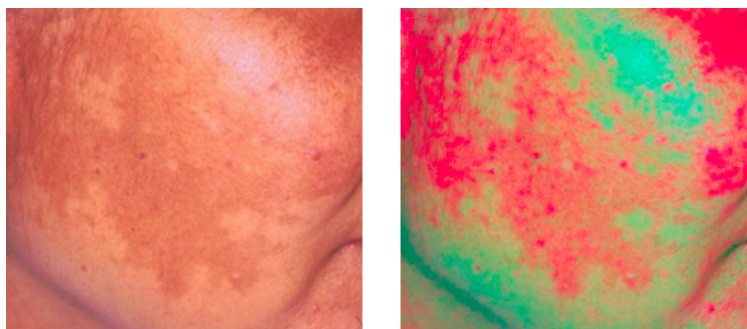


Рис. 13: Фильтр для области D

2.1.3. Модифицированный алгоритм анализа мелазмы

Поскольку после применения описанного фильтра участки мелазмы имеют более выраженный красный цвет, то в алгоритме перестает быть необходимым выделение опорных точек для детекции участков пигментации. Достаточно задать пороговое значение канала R и затем сравнивать компоненту пикселей, отвечающую за красный цвет, и это контрольное значение. Если компонента пикселя оказывается меньше, чем пороговое значение, то это не мелазма, в противном случае — мелазма.

Также в связи с тем, что данная курсовая работа базируется на работе с трехмерными моделями, нет необходимости находить участки, не относящиеся к коже, поскольку определение участвующих для анализа областей будет производиться на самой 3D модели.

Можно сформулировать алгоритм пошагово:

1. определение участков мелазмы для каждой области лица;
2. вычисление процентного количества участков кожи с нарушением пигментации для каждой области лица;
3. подсчет темноты мелазмы для каждой области лица;
4. вычисление индекса *MASI* по формуле (2), но вместо коэффици-

ентов 0.3 и 0.1 используются более точные значения:

$$\begin{aligned} MASI = & S(f)A(f)D(f) + \\ & + S(lm)A(lm)D(lm) + \\ & + S(rm)A(rm)D(rm) + \\ & + S(c)A(c)D(c) \end{aligned} \quad (3)$$

где $S()$ — доля, которую составляет участок относительно всех областей лица.

2.1.4. Сравнение результатов работы алгоритма из статьи и модифицированного алгоритма

На каждом из рис. 14 — рис. 17 представлены изначальное изображение и результаты алгоритмов. Слева располагается исходное изображение, по центру — изображение после применения алгоритма из статьи, справа — после применения модифицированного алгоритма. Нетрудно видеть, что распознавание областей мелазмы происходит более корректно на изображениях справа.

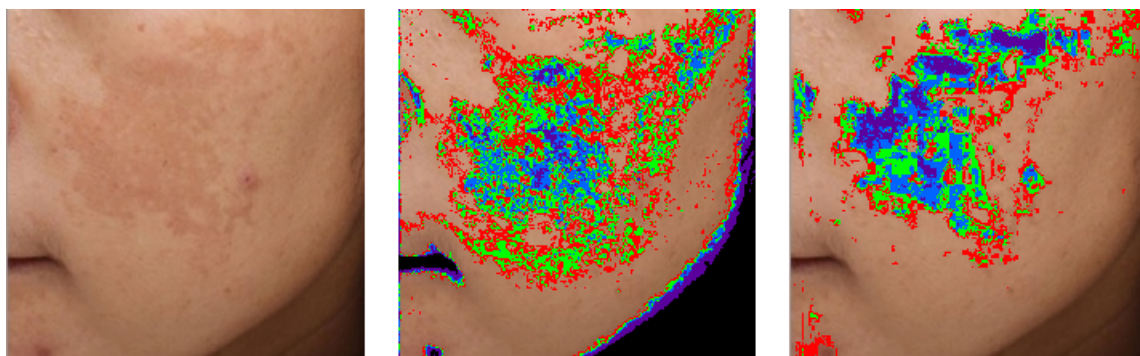


Рис. 14: Сравнение результатов для области А

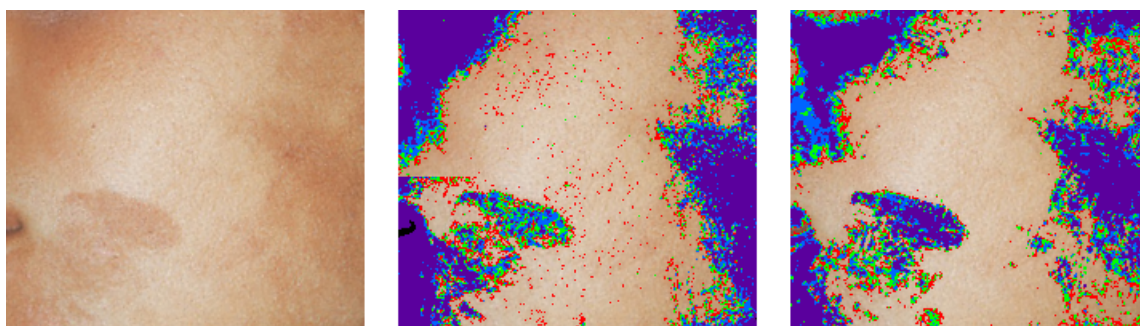


Рис. 15: Сравнение результатов для области В

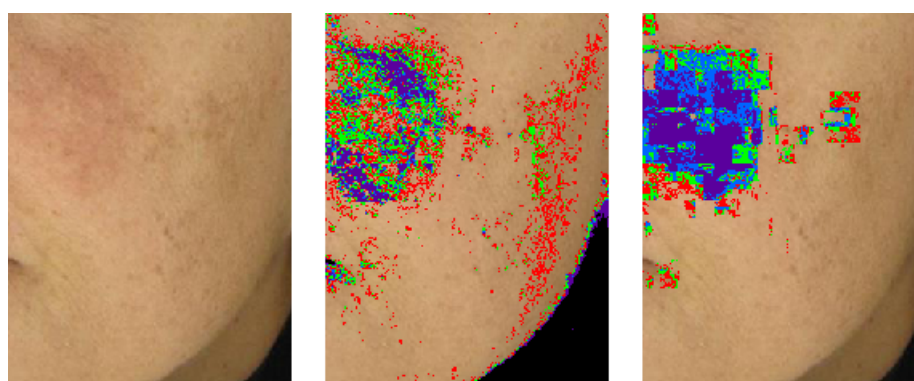


Рис. 16: Сравнение результатов для области С

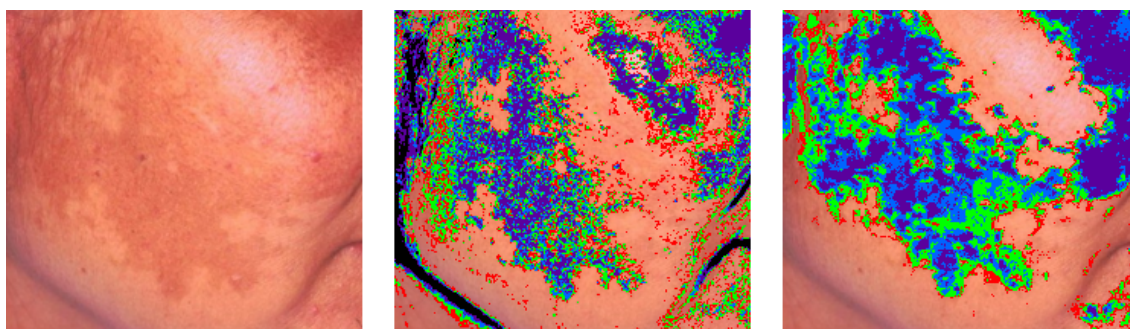


Рис. 17: Сравнение результатов для области D

Таким образом, алгоритм на вход принимает массив, состоящий из матриц пикселей и пороговое значение красного канала и возвращает результат как числовой, так и графический (изменяет переданные ему изображения). Но основной задачей является реализация алгоритма степени тяжести мелазмы для 3D моделей. Следовательно, необходимо реализовать получение матриц пикселей с трехмерных моделей.

2.2. Модуль анализа мелазмы

2.2.1. Взаимодействие с пользователем

В модуле реализованы графический интерфейс для ввода/вывода данных и логика обработки этих данных. Взаимодействие с пользователем разбито на три шага:

1. выбор трехмерной модели пациента;
2. определение границ областей для анализа и порогового значения красного канала;
3. отображение результатов вычислений.

2.2.2. Выделение участков на лице

В системе уже реализована возможность выделения областей на трехмерной модели. Для этого необходимо расставить точки, по которым затем строится область в форме многоугольника (рис. 18).

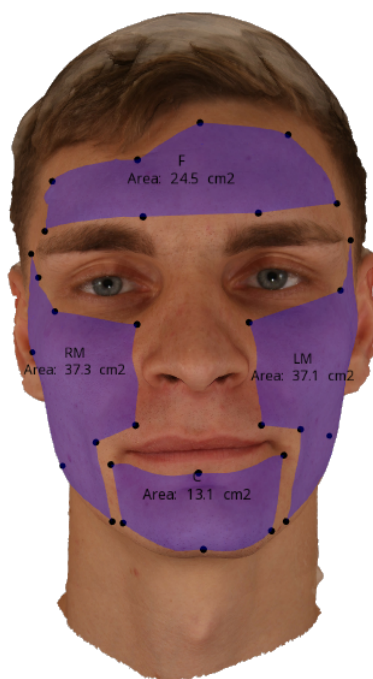


Рис. 18: Выделение областей на 3D модели

Таким образом, для того, чтобы выделить четыре участка на лице, необходимо последовательно для каждого из них установить точки, по которым будут построены соответствующие области.

2.2.3. Нахождение UV координат

В обзоре было сказано, что трехмерные модели состоят из треугольников и что для каждого треугольника на 3D модели есть его проекция на плоскости координат. Функционально выделенные области представляют собой набор треугольников. Значит, по набору треугольников необходимо найти соответствующие области на текстуре. Для этого мы проходим по каждому треугольнику из выделенной области и берем UV координаты его вершин. Далее, пробегаем по текстуре и ищем точки, лежащие внутри каждого треугольника.

Таким образом, для каждой области на трехмерной модели набирается массив из UV координат.

2.2.4. Получение матриц пикселей

Для получения 2D изображений выделенных областей, осталось проделать два шага:

1. для каждой указанной области создать матрицу, которая бы в себе содержала всю эту область;
2. пройтись по всем координатам области, получить соответствующие пиксели на текстуре и установить их в матрицу. Те пиксели, координаты которых не попадают в область, окрашиваются в черный цвет.

На рис. 19 приведен пример, как выделенная область на 3D модели отображается на плоскости.

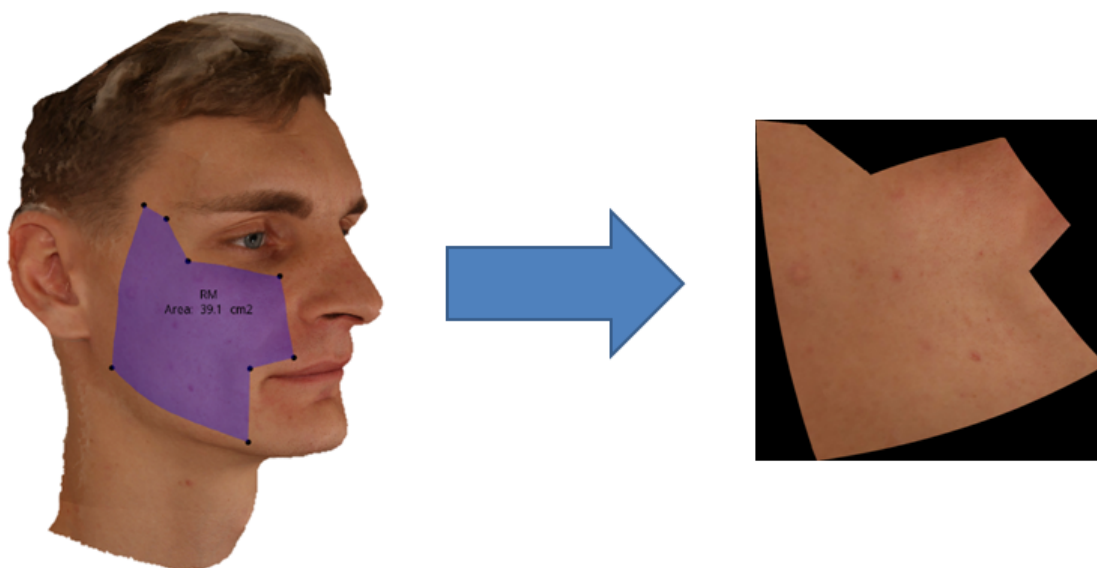


Рис. 19: Получение матрицы пикселей

Таким образом по трехмерной модели выделяются интересующие области и по ним заполняются матрицы пикселей. После этого к полученным матрицам применяется алгоритм анализа мелазмы.

2.2.5. Графический интерфейс

На рис. 20 представлен пользовательский интерфейс на втором шаге. Как уже было сказано, на этом шаге вручную выделяются области для анализа и задается пороговое значение для красного канала. Также здесь есть возможность посмотреть результат применения фильтра для детекции мелазмы и, собственно, результат самого алгоритма.

На третьем шаге создается таблица, в которой отображаются вычисленные алгоритмом значения (рис. 21). Участки, распознанные как мелазма, окрашиваются в цвета, соответствующие темноте пигментации. Ввиду отсутствия на текущий момент в проекте трехмерных моделей с мелазмой, демонстрация работы модуля осуществлялась на 3D модели головы человека без мелазмы. Для визуализации отображения мелазмы было намеренно введено неподходящее пороговое значение красного канала. Поэтому на рис. 21 выделенные области окрашены в различные цвета.

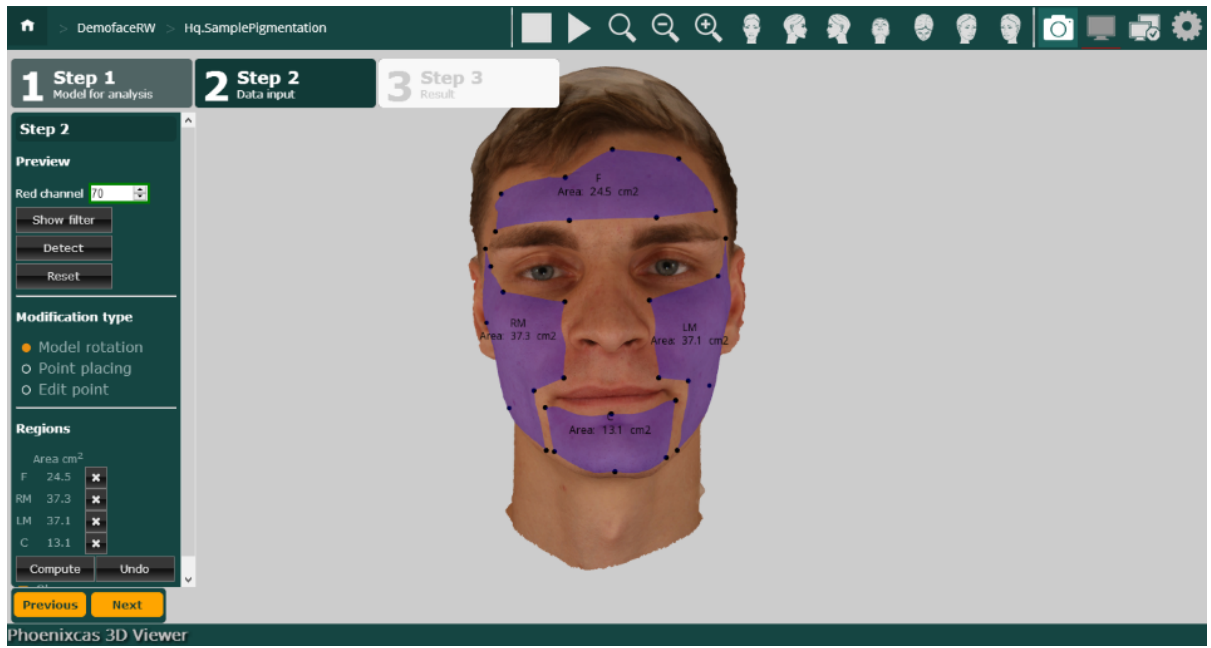


Рис. 20: Второй шаг

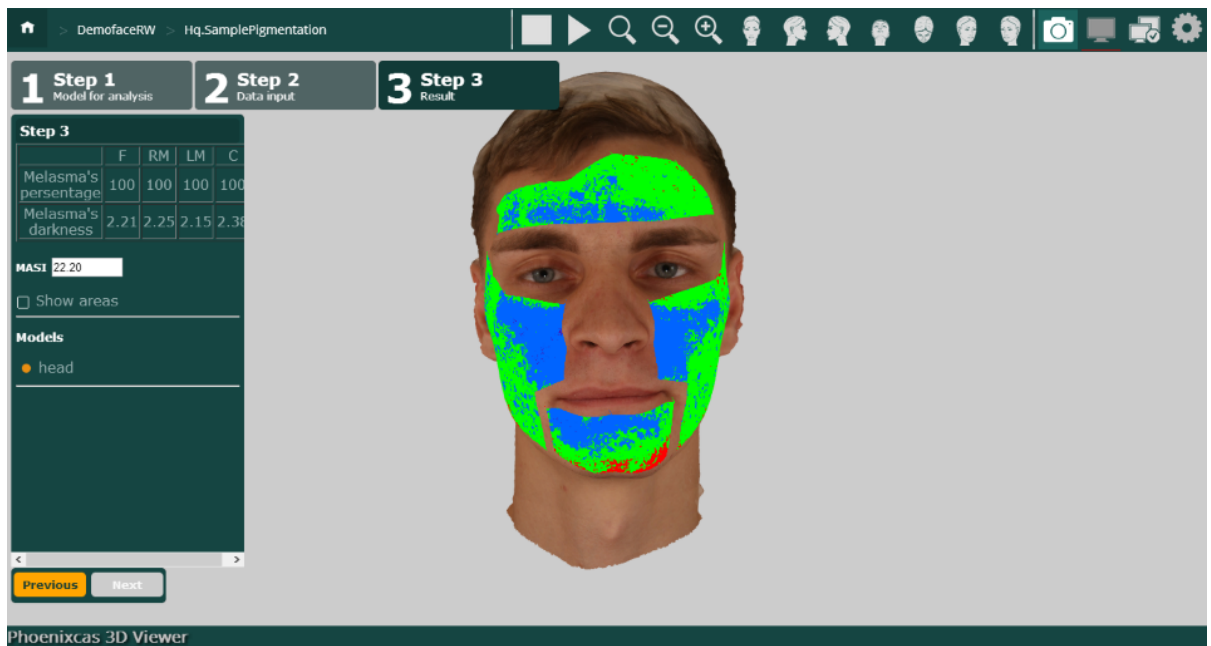


Рис. 21: Третий шаг

Заключение

В систему Phoenixcas 3D Viewer была добавлена возможность анализа мелазмы на лице по трехмерным моделям пациента. В ходе курсовой работы были выполнены следующие задачи:

1. исследованы способы анализа мелазмы;
2. реализован алгоритм, позволяющий оценивать степень тяжести мелазмы по 2D изображению;
3. разработан модуль анализа мелазмы на лице;
 - реализовано выделение областей текстуры по 3D модели;
 - реализовано отображение участков мелазмы.

Список литературы

- [1] Pilot study of an automated method to determine Melasma Area and Severity Index / E.Y. Tay, E.Y. Gan, V.W.D. Tan et al. // British Journal of Dermatology. — 2015.
- [2] Reliability assessment and validation of the Melasma Area and Severity Index (MASI) and a new modified MASI scoring method / A.G. Pandya, L.S. Hynan, R. Bhore et al. // Journal of the American Academy of Dermatology. — 2011.
- [3] Иванов Денис, Карпов Алексей, Кузьмин Евгений и др. Алгоритмические основы растровой графики. — URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/993/163/info> (дата обращения: 23.05.2017).