

Кафедра приборостроения, метрологии и сертификации

В.В. Дрёмин, И.О. Козлов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОТКАНЕЙ

Методические указания
по проведению практических занятий

Дисциплина – «Компьютерное моделирование оптических
свойств биотканей»

Направление – 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»

Авторы: канд. техн. наук, доц. каф. ПМиС В.В. Дрёмин
 асс. каф. ПМиС И.О. Козлов

Рецензент: канд. техн. наук, доц., В.В. Марков
 и.о. зав. каф. ПМиС

Методические указания содержат описание 8 практических работ, охватывающих основные разделы дисциплины. Представлены общие положения по выполнению практических работ, оформлению отчётов, описание занятий с указанием цели, содержания, методики подготовки к работе, порядка выполнения и защиты.

Предназначены студентам, обучающимся по направлению 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» очной формы обучения, изучающим дисциплину «Компьютерное моделирование оптических свойств биотканей».

Редактор Н.Н. Лысых
Технический редактор А.В. Селихов

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Подписано к печати 24.06.2022 г. Формат 60×90 / 16.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 10 экз.

Заказ № ____

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Общие положения	5
Практическая работа №1. Расчет коэффициента поглощения кожи человека	7
Практическая работа №2. Расчет коэффициента рассеяния, фактора анизотропии и показателя преломления кожи человека	10
Практическая работа №3. Изучение зависимости коэффициента поглощения кожи от различного содержания крови, меланина и воды	12
Практическая работа №4. Онлайн-моделирование методом Монте-Карло	14
Практическая работа №5. Моделирование диагностического объема методом Монте-Карло.....	15
Практическая работа №6. Моделирование спектров диффузного отражения методом Монте-Карло	17
Практическая работа №7. Моделирование цвета кожи методом Монте-Карло	18
Практическая работа №8. Нейросетевой фиттинг спектров диффузного отражения	20
ЛИТЕРАТУРА.....	22
Приложение А	24

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное моделирование оптических свойств биологических тканей и процессов взаимодействия света с биологическими средами стало актуальным в связи с тем, что в последние десятилетия наблюдается бурный рост исследований и разработок в области биомедицинской оптики. Аналитическое и численное моделирование процессов переноса излучения все успешнее входит в практику различных научных исследований.

Использование компьютерных моделей для решения уравнения теории переноса излучения является неотъемлемой частью современного проектирования оптических диагностических приборов, направленной на формирование медико-технических требований, на разработку схемотехнических решений, калибровку и верификацию устройств. Основам такого моделирования и посвящен цикл предлагаемых практических занятий.

Методические указания к выполнению работ по дисциплине «Компьютерное моделирование оптических свойств биотканей» предназначены для приобретения навыков и умений в использовании вычислительных систем для решения задач описания распространения оптического излучения в биологических средах.

Общие положения

Назначение и структура практических работ

Практические работы направлены на углубление и закрепление теоретических знаний по основным разделам дисциплины «Компьютерное моделирование оптических свойств биотканей», на получение практических навыков расчета оптических характеристик биологических тканей на примере кожи человека; навыков работы с методом Монте-Карло для расчета глубины зондирования различных диагностических технологий, спектров диффузного отражения и моделирования цвета кожи; на ознакомление с нейросетевым подходом для фиттинга спектров диффузного отражения.

Методические указания содержат 8 практических работ и охватывают наиболее важные вопросы по основным разделам теоретического курса.

При выполнении работ используется ПЭВМ и программные среды для графического представления результатов расчетов. Предполагается, что студенты предварительно ознакомлены с основными концепциями компьютерной математики и программирования.

Подготовка к выполнению работ

Подготовка к выполнению практических работ заключается в изучении теоретического материала по рекомендуемой литературе и по конспектам лекций. В описании каждой работы даны вопросы для самопроверки. Краткие ответы на эти вопросы должны быть изложены письменно в отчете. Подготовка к работе осуществляется студентом самостоятельно (вне аудиторных занятий). Консультации проводятся преподавателем, ведущим практические занятия в установленном порядке.

На практические занятия студент должен явиться подготовленным с оформленной теоретической частью отчета. Форма контроля – проверка отчетов, зачет по теоретической части работы.

Студент, не сдавший зачет по теоретической части, к выполнению работы не допускается.

Порядок выполнения работ

Каждая работа рассчитана на 2 часа. Таким образом, большинство работ выполняется за одно посещение лаборатории. Каждый студент выполняет практическое занятие индивидуально, т.е. на отдельной ПЭВМ.

При проведении занятий в течение первого часа необходимо выполнить экспериментально-расчетную часть работы, сделать выводы, завершить оформление отчета. Последний час практического занятия отводится зачету по работе.

Оформление отчета по работе

Отчет по работе оформляется каждым студентом индивидуально на листах стандартного формата А4 (210×297), не допускается использовать листы, извлеченные из ученических тетрадей. Форма титульного листа представлена в Приложении А.

Схемы, графики, диаграммы и таблицы необходимо выполнять с помощью специальных приложений на персональном компьютере (Matlab, MathCad, Microsoft Excel, OriginPro и подобные аналоги программ). Подписи графиков экспериментальных и теоретических зависимостей, а также рисунков и диаграмм выполняются шрифтом Times New Roman, 14. Нумерация страниц в отчете сквозная. Формулы заполняются с помощью редактора MathType в едином стиле шрифта с основным документом.

Отчет по теоретической части работы должен содержать изложение цели работы и письменные ответы на вопросы для самопроверки. Ответы следует излагать кратко, по существу. Содержание отчета по экспериментально-расчетной части работы изложено в описании каждой работы.

Небрежно оформленные отчеты к рассмотрению не принимаются.

Практическая работа №1. Расчет коэффициента поглощения кожи человека

Цель практической работы

Изучение коэффициента поглощения основных хромофоров и слоев кожи человека. Знакомство с математическим описанием поглощающих свойств кожи.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [1-3]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные физические процессы, происходящие при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом.
2. Дайте определение коэффициента поглощения.
3. Напишите формулу закона Бугера-Ламберта-Бера и дайте соответствующие пояснения.
4. Опишите морфологическое строение кожи человека.
5. Назовите основные хромофоры кожи человека.
6. Поглощение каких из хромофоров является доминирующим в видимой области спектра, а каких в ближней инфракрасной?
7. Какие точки называются изобестическими?
8. Что называется оптическими окнами прозрачности или диагностическими окнами?

Порядок выполнения работы

1. Получить коэффициенты поглощения окси- и дезоксигенированного гемоглобина, воды, жира, меланина и обескровленной ткани у преподавателя

или по следующим ссылкам и формулам с персонального сайта *Steve Jacques* и *Scott Prahl* [2]:

- окси- и дезоксигенированный гемоглобин: www.omlc.org/spectra/hemoglobin/;

- вода: www.omlc.org/spectra/water/abs/;

- жир [4]: www.omlc.org/spectra/fat/;

- меланин [5]: www.omlc.org/spectra/melanin/mua.html или

$\text{mua_Melanine} = 1.70e11 * (\text{Lambda}^{-3.48}) ;$

- обескровленная ткань [6]: www.omlc.org/news/jan98/skinoptics.html или

$\text{mua_Other} = 0.0244 + 8.53 * \exp(-(\text{Lambda}-154)/66.2) ;$

2. Построить графические зависимости данных характеристики от длины волны в диапазоне 400-1000 нм в одной из программных сред: Matlab, MathCad, Microsoft Excel, OriginPro и др.

3. Рассчитать спектры поглощения различных слоев кожи: рогового слоя, эпидермиса, папиллярной дермы, верхнего сосудистого сплетения, ретикулярной дермы, нижнего сосудистого сплетения, подкожного жирового слоя (см. Рис. 1).

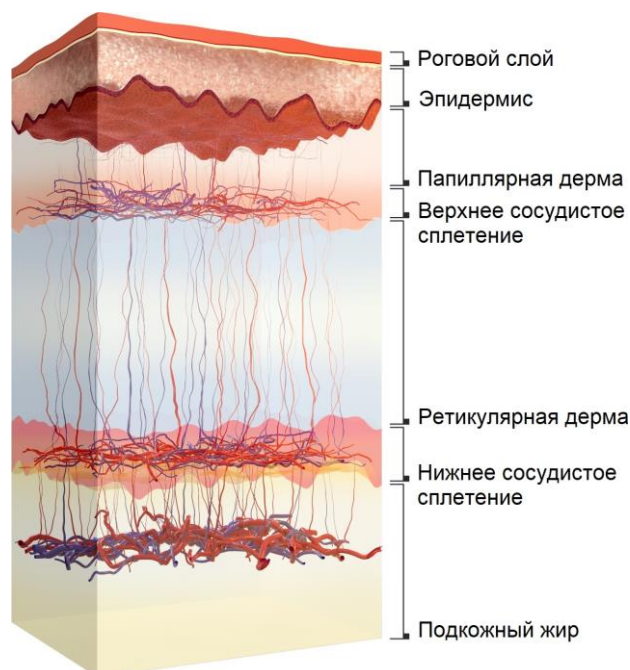


Рисунок 1 – Семислойная модель кожи человека

Для расчета использовать следующие формулы (в качестве примера представлен листинг из программной среды Matlab):


```

% Роговой слой
mua_Stratum = C_H20_Str*mua_Water+(1-C_H20_Str)*mua_Other;
% Эпидермис
mua_Epidermis = C_Melanine*mua_Melanine+C_H20_Epi*mua_Water+(1-
C_Melanine-C_H20_Epi)*mua_Other;
% Папиллярная дерма
mua_PD = C_Blood_PD*(S*mua_OxyHb+(1-
S)*mua_Hb)+C_H20_PD*mua_Water+(1-C_Blood_PD-C_H20_PD)*mua_Other;
% Верхнее сосудистое сплетение
mua_UD = C_Blood_UD*(S*mua_OxyHb+(1-
S)*mua_Hb)+C_H20_UD*mua_Water+(1-C_Blood_UD-C_H20_UD)*mua_Other;
% Ретикулярная дерма
mua_RD = C_Blood_RD*(S*mua_OxyHb+(1-
S)*mua_Hb)+C_H20_RD*mua_Water+(1-C_Blood_RD-C_H20_RD)*mua_Other;
% Нижнее сосудистое сплетение
mua_DD = C_Blood_DD*(S*mua_OxyHb+(1-
S)*mua_Hb)+C_H20_DD*mua_Water+(1-C_Blood_DD-C_H20_DD)*mua_Other;
% Подкожный жир
mua_Sub =
C_Fat*mua_Fat+C_H20_Sub*mua_Water+C_Blood_Sub*((S*mua_OxyHb+(1-
S)*mua_Hb))+(1-C_Fat-C_H20_Sub-C_Blood_Sub)*mua_Other;

```

В качестве исходного содержания различных хромофоров использовать следующие параметры (листинг из программной среды Matlab):

```

% Оксигенация
S = 0.9;
% Роговой слой
C_H20_Str = 0.05; % Содержание воды
% Эпидермис
C_H20_Epi = 0.2;
C_Melanine = 0.01; % Содержание меланина
% Папиллярная дерма
C_H20_PD = 0.5;
C_Blood_PD = 0.05; % Содержание крови
% Верхнее сосудистое сплетение
C_H20_UD = 0.6;
C_Blood_UD = 0.20;
% Ретикулярная дерма
C_H20_RD = 0.7;
C_Blood_RD = 0.04;
% Нижнее сосудистое сплетение
C_H20_DD = 0.7;
C_Blood_DD = 0.1;
% Подкожный жир
C_H20_Sub = 0.15;
C_Blood_Sub = 0.07;
C_Fat = 0.6; % Содержание жира

```

4. Проанализировать результаты и занести соответствующие выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать графики поглощения основных хромофоров и различных слоев кожи, анализ результатов и соответствующие выводы по практической работе.

Практическая работа №2. Расчет коэффициента рассеяния, фактора анизотропии и показателя преломления кожи человека

Цель практической работы

Изучение коэффициента рассеяния, фактора анизотропии и показателя преломления кожи человека и соответствующих функциональных зависимостей от длины волны.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [1-3]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определения коэффициента рассеяния, фактора анизотропии и показателя преломления.
2. Какие среды называют мутными?
3. Напишите формулу расчета приведенного коэффициента рассеяния.
4. Какие выделяют типы рассеяния? Дайте определение каждого из них.
5. Назовите основные компоненты кожи человека, отвечающие за ее рассеивающие свойства.
6. Как значение гематокрита влияет на рассеяние цельной крови?

7. Чему равен фактор анизотропии для большинства биологических тканей?

8. От чего зависит показатель преломления вещества?

9. При помощи каких законов описываются отношения между отраженным и преломленным лучами?

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать фактор анизотропии кожи человека. Для расчета использовать следующую формулу [6]: $\sigma = 0.62 + (0.29 \cdot 10^{-3}) \cdot \text{Lambda}$;

2. Получить у преподавателя значения фактора анизотропии крови [7].

3. Построить графические зависимости данных характеристики от длины волны в одной из программ: Matlab, OriginPro, Microsoft Excel и др.

4. Рассчитать приведенный коэффициент рассеяния слоев кожи человека и построить соответствующие графические зависимости, используя следующие формулы [8] (листинг из программной среды Matlab):

```
% Эпидермис
musr_Epidermis = 1.08e7*Lambda.^-2.364+13.571*Lambda.^-0.267;
% Дерма
musr_Dermis = 1.19e7*Lambda.^-2.427+7.1476*Lambda.^-0.258;
% Подкожный жир
musr_Subcut = 1.08e7*Lambda.^-2.525+15.7494*Lambda.^-0.345;
```

5. Рассчитать показатель преломления слоев кожи человека и построить соответствующие графические зависимости, используя следующие формулы [9-11] (листинг из программной среды Matlab):

```
% Роговой слой
n_Stratum(1:601) = 1.55;
% Эпидермис
n_Epidermis = 1.74222*Lambda.^-0.02916;
% Дерма
n_Dermis = 1.5586*Lambda.^-0.01829;
% Подкожный жир
n_Subcut(1:601) = 1.44;
```

6. Проанализировать результаты и занести соответствующие выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать графики приведенного коэффициента рассеяния, фактора анизотропии и показателя преломления, анализ результатов и соответствующие выводы по практической работе.

Практическая работа №3. Изучение зависимости коэффициента поглощения кожи от различного содержания крови, меланина и воды

Цель практической работы

Изучение зависимости коэффициента поглощения кожи от различного содержания крови, меланина и воды.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [1-3]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные полосы поглощения окси- и дезоксигемоглобина крови.
2. Как различная оксигенация и значение гематокрита может влиять на спектры поглощения крови?
3. На поглощение какого слоя кожи будет оказывать влияние различное содержание меланина?
4. Какой вид имеет спектр поглощения меланина?
5. Назовите 6 типов кожи, согласно классификации Томаса Фицпатрика.
6. В чем заключается особенность спектра поглощения воды?
7. Назовите основные полосы поглощения воды.

Порядок выполнения работы

1. Используя ранее полученные зависимости, изучить влияние различного содержания крови, меланина и воды на коэффициенты поглощения слоев кожи человека.

2. Построить график коэффициента поглощения эпидермиса для концентрации меланина, указанной преподавателем из Таблицы 1. Сравнить со значениями поглощения из Практической работы №1. Остальные значения содержания основных хромофоров для этого и последующих заданий взять также из Практической работы №1.

Таблица 1

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное содержание меланина в эпидермисе	0.02	0.06	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36

3. Построить график коэффициента поглощения папиллярной дермы для концентрации воды, указанной преподавателем из Таблицы 2. Сравнить со значениями поглощения из Практической работы №1.

Таблица 2

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное содержание воды в папиллярной дерме	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.8

4. Построить график коэффициента поглощения папиллярной дермы для концентрации крови, указанной преподавателем из Таблицы 3. Сравнить со значениями поглощения из Практической работы №1.

Таблица 3

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное содержание крови в папиллярной дерме	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25

5. Проанализировать результаты и занести соответствующие выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать графики поглощения эпидермиса и папиллярной дермы для заданных значений содержания меланина, воды и крови, анализ результатов и соответствующие выводы по практической работе.

Практическая работа №4. Онлайн-моделирование методом Монте-Карло

Цель практической работы

Ознакомление с онлайн-платформой для моделирования методом Монте-Карло: www.biophotonics.fi (Cloud Monte Carlo for light transport in turbid scattering medium).

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [12, 13]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Что описывает уравнение переноса?
2. Назовите наиболее часто используемые методы решения уравнения переноса.
3. Опишите метод моделирования Монте-Карло.
4. От чего зависит точность метода Монте-Карло?

Порядок выполнения работы

1. Изучите вычислительную платформу www.biophotonics.fi.

2. Последовательно откройте каждое из представленных приложений: *Sampling Volume, Fluence Rate, Skin Spectrum, Skin Color, Polarization, Pulse Oximetry*.

3. Изучите описание каждого блока.

4. Сделайте и сохраните скриншоты основных шагов ввода параметров для моделирования.

4. Занести соответствующие скриншоты и выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать скриншоты страниц основных вычислительных блоков рассматриваемого сайта с соответствующим описанием.

Практическая работа №5. Моделирование диагностического объема методом Монте-Карло

Цель практической работы

Изучение возможностей онлайн-платформы для моделирования диагностического объема (*sampling volume*).

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [12, 13]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте описание диагностического объема.
2. Для каких задач может использоваться вычисление диагностического объема?

3. От каких параметров биологических тканей зависит диагностический объем?

4. От каких параметров измерительной системы зависит диагностический объем?

Порядок выполнения работы

1. Откройте сайт *www.biophotonics.fi*.

2. Перейдите во вкладку *Sampling Volume*. Проведите моделирование для конфигурации оптического зонда для регистрации отражения (см. Рис. 2).

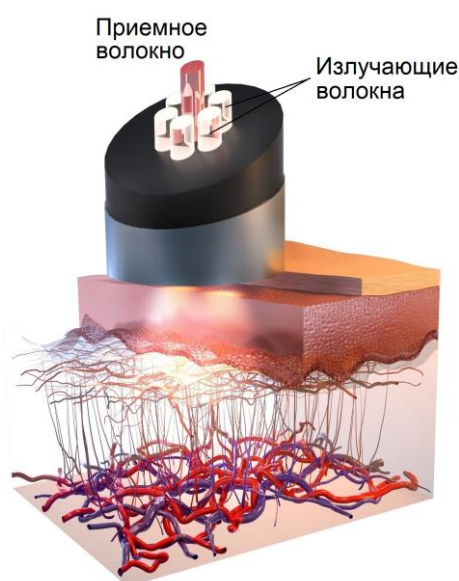


Рисунок 2 – Измерение обратно отраженного излучения с помощью волоконно-оптического зонда

3. Задайте оптические параметры каждого слоя кожи в соответствии с результатами Практической работы №1 и длиной волной, указанной преподавателем из Таблицы 4.

Таблица 4

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина волны, нм	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900

4. Задайте диаметры источника и детектора 100 мкм с апертурой детектора 0.22.

5. Изучите зависимость диагностического объема от расстояния источник-детектор, изменяющегося в диапазоне 100-500 мкм с шагом 50 мкм.

6. Сохранить и проанализировать результаты и занести соответствующие выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать распределения диагностического объема для различных расстояний между источником и детектором излучения, анализ результатов и соответствующие выводы по практической работе.

Практическая работа №6. Моделирование спектров диффузного отражения методом Монте-Карло

Цель практической работы

Изучение возможностей онлайн-платформы для моделирования спектров диффузного отражения.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [12, 13]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте описание основных принципов спектроскопии диффузного отражения.
2. Какие параметры биологической ткани будут влиять на формирование спектра диффузного отражения.
3. Опишите возможные области применения спектроскопии диффузного отражения в биологии и медицине.

Порядок выполнения работы

1. Откройте сайт *www.biophotonics.fi*.
2. Перейдите во вкладку *Skin Spectrum*. Проведите моделирование для конфигурации оптического зонда для регистрации отражения.
3. Задайте оптические параметры каждого слоя кожи в соответствии с результатами Практической работы №1.
4. Задайте следующие параметры технической системы: диаметры источника и детектора 400 мкм; расстояние между источником и детектором 480 мкм, апертура детектора 0.22.
5. Изучите зависимость спектров диффузного отражения от содержания крови в папиллярной дерме. В качестве входных параметров использовать данные из Таблицы 3.
6. Изучите зависимость спектров диффузного отражения от значений оксигенации, изменяющихся в диапазоне 50-100 % с шагом 10 %.
7. Сохранить и проанализировать результаты и занести соответствующие выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать графики спектров диффузного отражения для различного содержания крови и оксигенации, анализ результатов и соответствующие выводы по практической работе.

Практическая работа №7. Моделирование цвета кожи методом Монте-Карло

Цель практической работы

Изучение возможностей онлайн-платформы для моделирования цвета кожи.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [12, 13]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие параметры могут влиять на цвет кожи?
2. Назовите 6 типов кожи, согласно классификации Томаса Фицпатрика.

Порядок выполнения работы

1. Откройте сайт *www.biophotonics.fi*.
2. Перейдите во вкладку *Skin Color*. Проведите моделирование для различного содержания меланина и крови.
3. Задайте оптические параметры каждого слоя кожи в соответствии с результатами Практической работы №1.
5. Изучите зависимость цвета кожи от содержания меланина. В качестве входных параметров использовать данные из Таблицы 1.
6. Изучите зависимость цвета кожи от содержания крови. В качестве входных параметров использовать данные из Таблицы 3.
7. Сохранить и проанализировать результаты и занести соответствующие выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать графики поглощения основных хромофоров и различных слоев кожи, анализ результатов и соответствующие выводы по практической работе.

Практическая работа №8. Нейросетевой фиттинг спектров диффузного отражения

Цель практической работы

Изучение метода анализа данных спектроскопии диффузного отражения на основе нейронной сети, обученной модельными спектрами.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [14]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определения понятию нейронных сетей.
2. Дайте определение понятию фиттинг экспериментальных данных.
3. Назовите основных принципы спектроскопии диффузного отражения.
4. Назовите основных принципы метода гиперспектральной визуализации.

Порядок выполнения работы

1. Изучить основы фиттинга спектров диффузного отражения с помощью нейронных сетей для получения параметров кровенаполнения и оксигенации.
2. Получить от преподавателя нейронную сеть, обученную в среде программирования Matlab с помощью модельных спектров, полученных методом Монте-Карло.
3. Изучить интерфейс среды программирования Matlab.
4. Изучить загрузку данных в среду Matlab.
5. Получить от преподавателя экспериментально измеренные спектры диффузного отражения и загрузить их в среду Matlab.

6. Запустить нейросеть для расчёта кровенаполнения и оксигенации.
7. Проанализировать результаты и занести соответствующие выводы в отчет.

Оформление отчёта

Отчёт по практической работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт должен содержать результаты нейросетевой обработки спектров диффузного отражения, анализ результатов и соответствующие выводы по практической работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тучин, В. В. Оптика биологических тканей: методы рассеяния света в медицинской диагностике [Текст] / В. В. Тучин. – Москва: Физматлит, 2012. – 811 с.
2. Assorted Spectra [Электронный ресурс], 2022. – Режим доступа: <https://omlc.org/spectra/index.html>, свободный.
3. Dremin, V. Influence of blood pulsation on diagnostic volume in pulse oximetry and photoplethysmography measurements [Text] / V. Dremin, E. Zherebtsov, A. Bykov, A. Popov, A. Doronin, I. Meglinski // Applied Optics. – 2019. – Vol. 58. – №34. – P. 9398-9405.
4. Van Veen, R.L.P. Determination of VIS-NIR absorption coefficients of mammalian fat, with time- and spatially resolved diffuse reflectance and transmission spectroscopy [Text] / R.L.P. van Veen, H.J.C.M. Sterenborg, A. Pifferi, A. Torricelli, R. Cubeddu // OSA Technical Digest. – 2004. – P. SF4.
5. Jacques, S.L. The melanosome: threshold temperature for explosive vaporization and internal absorption coefficient during pulsed laser irradiation [Text] / S.L. Jacques, D.J. McAuliffe // Photochemistry and Photobiology. – 1991. – Vol. 53. – №6. – P. 769-775.
6. Van Gemert, M.J.C. Skin optics [Text] / M.J.C. Van Gemert, S.L. Jacques, H.J.C.M. Sterenborg, W.M. Star // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 1989. – Vol. 36. – №12. – P. 1146-1154.
7. Bosschaart, N. A literature review and novel theoretical approach on the optical properties of whole blood [Text] / N. Bosschaart, G.J. Edelman, M.C.G. Aalders, T.G. van Leeuwen, D.J. Faber // Lasers in Medical Science. – 2014. – Vol. 29. – P. 453-479.
8. Salomatina, E.V. Optical properties of normal and cancerous human skin in the visible and near-infrared spectral range [Text] / E.V. Salomatina, B. Jiang, J. Novak, A.N. Yaroslavsky // Journal of Biomedical Optics. – 2006. – Vol. 11. – №6. – P. 064026.
9. Duck, F.A. Optical properties of tissue including ultraviolet and infrared Radiation [Text] / F.A. Duck. – Academic Press, 1990. – P. 43-71.
10. Ding, H. Refractive indices of human skin tissues at eight wavelengths and estimated dispersion relations between 300 and 1600 nm [Text] / H. Ding, J.Q. Lu,

W.A. Wooden, P.J. Kragel, X.-H. Hu // *Physics in Medicine & Biology*. – 2006. – Vol. 51. – P. 1479.

11. Müller, G.J. Laser-induced interstitial thermotherapy [Text] / G.J. Müller, A. Roggan. – SPIE Press, 1995. – 549 p.

12. Cloud Monte Carlo for light transport in turbid scattering medium [Электронный ресурс], 2022. – Режим доступа: <http://biophotonics.fi/>, свободный.

13. Doronin, A. Online object oriented Monte Carlo computational tool for the needs of biomedical optics [Text] / A. Doronin, I. Meglinski // *Biomedical Optics Express*. – 2011. – Vol. 2. – №9. – P. 2461-2469.

14. Zharebtsov, E. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks [Text] / E. Zharebtsov, V. Dremin, A. Popov, A. Doronin, D. Kurakina, M. Kirillin, I. Meglinski, A. Bykov // *Biomedical Optics Express*. – 2019. – Vol. 10. – №7. – P. 3545-3559.

Приложение А
(обязательное)

Форма титульного листа отчёта по практической работе

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Кафедра приборостроения, метрологии и сертификации

ОТЧЕТ

по практической работе № _____

(Полное наименование работы) _____

Дисциплина: « _____ »

Студент: _____ (Ф.И.О.)

Группа: _____

Допущен к защите: _____

Отметка о зачете: _____

Орел, 20__