

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра электронных средств автоматизации и управления (ЭСАУ)

К ЗАЩИТЕ ДОПУСТИТЬ
Заведующий кафедрой ЭСАУ
д-р техн. наук, проф.
_____ О.И. Черепанов
" ____ " 2015г.

**РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ
ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ ПО СЕРИИ
ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Дипломная работа

по специальности 220301 - Автоматизация технологических процессов и
производств

Пояснительная записка

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

СОГЛАСОВАНО

Консультант по экономике
Доцент кафедры Экономики
канд. экон. наук
_____ О.П. Полякова
" ____ " 2015г.

Студент гр. 530
кафедры ЭСАУ
_____ И.Ю. Поляков
" ____ " 2015г.

Консультант по безопасности
жизнедеятельности
Доцент кафедры РЭТЭМ
канд. хим. наук
_____ И.А. Екимова
" ____ " 2015г.

Руководитель
Мл. н. с. лаборатории полимерных ком-
позитных материалов ИФПМ СО РАН
канд. техн. наук
_____ П.С. Любутин
" ____ " 2015г.

Томск – 2015

Реферат

Выпускная квалификационная работа 93 с., 22 рис., 15 табл., 25 источников, 2 прил.

ПОЛЕ ВЕКТОРОВ СМЕЩЕНИЙ, КОМПОНЕНТЫ ДЕФОРМАЦИИ, СУБПИКСЕЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ

Целью настоящей работы является разработка программного обеспечения (ПО) для оценки деформаций поверхностей твёрдых тел, а также проведение исследований алгоритмов и методов как на модельных, так и на реальных оптических изображениях.

В работе исследовано влияние метода интерполяции изображений с субпиксельной точностью с использованием итеративного подхода на расчёт оптического потока(векторного поля).

Проект выполнен с использованием следующих средств разработки: языка программирования C++(Qt), среды разработки QtCreator 3, Sublime 3. Система контроля версий git.

Программный продукт, разработанный в ходе данной работы, представлен в приложении.

Отчёт выполнен согласно ОС ТУСУР 01-2013 при помощи текстового процессора L^AT_EX.

The abstract

Diploma work contains 93 pages, 22 pictures, 15 tables, 25 sources, 2 appendix, 5 sheets of a graphic material.

FIELD DISPLACEMENT VECTOR, STRAIN COMPONENTS, SUB-PIXEL ACCURACY

The aim of this work is the development of software (software) to evaluate the deformation of surfaces of solids, as well as research methods and algorithms on model, and the real optical images.

The influence of the method of interpolation image with sub-pixel precision using an iterative approach to the calculation of the optical flow (vector field).

The project was implemented using the following development tools: the programming language C ++ (Qt), development environment QtCreator 3, Sublime 3. A version control system git.

The software, developed in the course of this work, presented in the annex.

The report is made in accordance with the OS TUSUR 01-2013 using a word processor L^AT_EX.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра электронных средств автоматизации и управления (ЭСАУ)

УТВЕРЖДАЮ

зав. каф. ЭСАУ

_____ О.И. Черепанов

" ____ " _____ 2015г.

ЗАДАНИЕ

на дипломную работу студенту Полякову Игорю Юрьевичу группы 530, факультета вычислительных систем.

1. Тема работы: Разработка и тестирование программного обеспечения для оценки деформации поверхности твёрдых тел по серии оптических изображений.
2. Срок сдачи студентом законченной работы: " ____ " _____ 2015г.
3. Исходные данные к работе:
 - Программное обеспечение для оценки деформации “Deformation Analysis”;
 - Дифференциальный алгоритм Лукаса–Канаде.

4. Содержание расчётно-пояснительной записи (перечень подлежащих разработке вопросов):

- введение;
- описание алгоритмов;
- проектирование программного обеспечения;
- тестирование;
- заключение.

5. Перечень графического материала:

- презентация.

6. Консультанты по работе

– консультант по экономике: доцент кафедры экономики, кандидат экономических наук

О.П. Полякова

" ____ " 2015г.

– консультант по вопросам охраны труда: доцент кафедры РЭТЭМ, кандидат химических наук

И.А. Екимова

" ____ " 2015г.

Задание выдано:

Руководитель: младший научный сотрудник ИФПМ СО РАН, кандидат технических наук

П.С. Любутин

" ____ " 2015г.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

5

Содержание

1	Введение	8
2	Описание алгоритмов и методов для решения задачи	10
2.1	Описание дифференциального алгоритма определения оптического потока Лукаса–Канаде	10
2.2	Оценка деформации	20
3	Конструкторско-технологическая часть	23
3.1	Программная платформа и язык программирования	23
3.2	Структурно функциональная схема программного обеспечения	26
3.3	Сведения о платформе реализации с указанием основных функций операционной системы, необходимых для работы модуля	28
3.4	Выбор формата выходных файлов	29
3.5	Документирование ПО	30
3.6	Основные алгоритмы работы, программных модулей	30
3.7	Интерфейс разрабатываемого программного обеспечения	33
4	Тестирование программного обеспечения	37
4.1	Образцы изображений	37
4.2	Оценка быстродействия	39
4.3	Тестирование программного обеспечения	41
4.4	Исследование метода интерполяции	42
4.5	Исследование размера окна поиска	43
4.6	Исследование числа итераций	43
5	Безопасность жизнедеятельности	44
5.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте	44

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ		
Разраб.	Поляков И.Ю.						
Пров.	Любутин П.С.						
Н. контр.	Майстренко А.В.				Разработка и тестирование программного обеспечения для оценки деформации поверхности твёрдых тел по серии оптических изображений		Лит.
Утв.	Черепанов О.И.					6	Листов 93
					ТУСУР, ФВС, каф. ЭСАУ, гр. 530		

5.2	Требования и защитные мероприятия в области БЖД	46
5.3	Требования эргономики и технической эстетики	58
5.4	Общие требования безопасности перед началом, вовремя, по окончании работы и в случае аварийных ситуаций	61
6	Технико-экономическое обоснование	64
6.1	Обоснование необходимости проводимого исследования	64
6.2	Планирование комплекса работ по разработке программного обеспечения	64
6.3	Определение сметной стоимости проекта	65
6.4	Научно-технический эффект	71
6.5	Социальный эффект	73
7	Заключение	74
	Приложение А Текст графического модуля	78
	Приложение Б Документация программного обеспечения	81

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

7

1 Введение

Оптический метод оценки деформации, основанный на корреляции цифровых изображений (именуемый в зарубежной литературе DIC — digital image correlation), включает два основных этапа: 1) построение поля векторов перемещений и 2) последующий расчет компонент деформации [1]. Большинство исследований в области разработки алгоритмов построения векторов перемещений направлены на повышение точности и увеличение помехоустойчивости определения смещений [2, 3], либо увеличение быстродействия.

В современных DIC-системах перед нагружением на поверхности исследуемого материала с помощью двух баллонов краски формируется спекл-картина [1]. Это позволяет повысить контрастность и обеспечить достоверное определение перемещений. При этом форма и размер элементов спекла могут существенно влиять на точность и помехоустойчивость измерения смещений. Погрешность измерения определялась как сумма систематической ошибки, вызванной субпиксельной ошибкой при определении смещений, и случайной погрешности, обусловленной наличием шумов и их уровнем. Показано, что радиус пятен в спекле порядка $3 \sim 4$ пикселов обеспечивает минимальную ошибку определения смещения.

Помимо выявления оптимального размера элементов спекла, существует проблема выбора размера ядра корреляции. Под ядром корреляции подразумевается площадка изображения, для которой определяется перемещение, и её центр соответствует координатам искомого вектора перемещений. В зарубежной литературе для обозначения размеров фрагментов изображений, участвующих в работе корреляционного алгоритма, применяется термин subset size. Далее в статье будем использовать термин “размер площадки корреляции”, который по нашему мнению наиболее соответствует термину subset size. Заметим, что в методе определения оптического потока площадка корреляции, как правило, соответствует небольшим по площади фрагментам изображения, что обусловлено, прежде всего, необходимостью

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						8

снижения вычислительных затрат при построении полного поля перемещений, а также обеспечения достаточно высокой плотности векторов поля перемещений [4, 5].

В работе [6] исследовали проблему выбора размера площадки корреляции и в качестве варианта ее решения предложен подход, в основе которого лежит определение суммы квадратов градиентов интенсивности участков изображения SSSIG (Sum of Square of Subset Intensity Gradients). Оценено влияние размера площадки корреляции, а также шума на изображении на ошибку определения перемещений. В [1] приводятся рекомендации для выбора размера площадки корреляции в зависимости от физического размера образца материала, изображённого на фотографии, а также от разрешения изображения (оптической системы) и размера элементов спектра (пятен). Приведённая информация является скорее рекомендацией по проведению съёмки материалов для обеспечения требуемой точности, чем конкретным алгоритмом выбора размера площадки корреляции.

Целью настоящей работы является разработка программного обеспечения (ПО), рассмотрение алгоритмов вычисления оптического потока для оценки деформаций поверхностей твёрдых тел, т.е. для получения качественной и количественной оценки процессов, развивающихся в деформируемом твёрдом теле, а также проведение исследований алгоритмов и методов на реальных оптических изображениях.

Область применения ПО:

- экспериментальное исследование механизмов деформации и разрушения структурно-неоднородных материалов с целью последующего компьютерного моделирования их структуры и свойств;
- аттестация режимов формирования защитных и упрочняющих покрытий с целью корректировки режимов их нанесения;
- тарировка приборов неразрушающего контроля и дефектоскопии.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

9

2 Описание алгоритмов и методов для решения задачи

Оптический поток — это изображение видимого движения объектов, поверхностей или краев сцены, получаемое в результате перемещения наблюдателя (глаз или камеры) относительно сцены. Алгоритмы, основанные на оптическом потоке, — такие как регистрация движения, сегментация объектов, кодирование движений и подсчет диспаритета в стерео, — используют это движение объектов, поверхностей и краев. Методы определения оптического потока:

- фазовая корреляция — инверсия нормализованного перекрестного спектра;
- блочные методы — минимизация суммы квадратов или суммы модулей разностей;
- дифференциальные методы оценки оптического потока, основанные на частных производных сигнала.

Все современные дифференциальные алгоритмы слежения за особенностями опираются на работу 1981 году Лукаса и Канаде [5]. В 1991 году математическая формулировка этого алгоритма была изменена, и стала основой для всех последующих обобщений с учётом аффинных искажений окрестности и освещённости. Путём замены соответствующих переменных на константы любой из них превращается в обычный алгоритм Лукаса—Канаде [7].

2.1 Описание дифференциального алгоритма определения оптического потока Лукаса—Канаде

В основе всех дальнейших рассуждений лежит одно очень важное и не очень справедливое предположение: Предположим, что значения пикселей переходят из одного кадра в следующий без изменений. Таким образом, мы делаем допущение, что пиксели, относящиеся к одному и тому же объекту, могут сместиться в какую либо сторону, но их значение останется неизменным. Конечно же это предположение имеет мало общего с реальностью, потому что от кадра к кадру могут меняться

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						10

глобальные условия освещения и освещённость самого движущегося объекта. Мас-са проблем связана с этим допущением, но, как ни странно, вопреки всему оно до-статочно хорошо работает на практике. На математическом языке это допущение можно записать так:

$$I(x, y, t) = I(x + u_x, y + u_y, t + 1), \quad (2.1)$$

где I — это функция яркости пикселей от положения на кадре и времени.

Другими словами x и y — это координаты пикселя в плоскости кадра, t — это смещение, а $t + 1$ — это номер кадра в последовательности. Условимся, что между двумя соседними кадрами проходит единичный отрезок времени.

2.1.1 Одномерный случай алгоритма



Рисунок 2.1 – Одномерный сдвиг яркостей

Для начала рассмотрим одномерный случай. Рассмотрим представленные на рисунке 2.1 два одномерных кадра размером 1×20 пикселей. На рисунке 2.1 кадр f_2 смещено вправо на 4 пикселя. Именно это смещение необходимо найти. Для этого представим эти же кадры в виде функций (рисунок 2.2). На входе позиция пикселя, на выходе — его интенсивность. В таком представлении искомое смещение (d) видно еще более наглядно. В соответствии с нашим предположением, f_2 это просто смещённая f_1 , то есть можно сказать, что:

$$f_2(x) = f_1(x - d), \quad (2.2)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

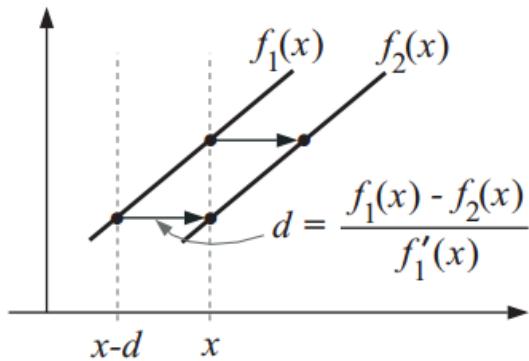


Рисунок 2.2 – Функция зависимости интенсивности от позиции пикселя

Обратите внимание, что f_1 и f_2 при желании можно записать и в общем виде:
 $f_1(x) = I(x, y, t)$ $f_2(x) = I(x, y, t)$; где y и t зафиксированы и равны нулю.

Для каждой координаты нам известны значения и в этой точке, кроме того мы можем вычислить их производные. Связем известные значения со смещением d . Для этого запишем разложение в ряд Тейлора для $f_1(x - d)$:

$$f_1(x - d) = f_1(x) - df'_1(x) + O(d^2 f''_1),$$

Сделаем второе важное предположение: Предположим, что достаточно хорошо аппроксимируется первой производной. Сделав это предположение, отбросим всё что после первой производной:

$$f_1(x - d) = f_1(x) - df'_1(x)$$

Насколько это корректно? В общем—то не очень, тут мы теряем в точности, если только наша функция/изображение не строго линейна, как в нашем искусственном примере. Зато это существенно упрощает метод, а для достижения требуемой точности можно сделать последовательное приближение, которое мы рассмотрим позже.

Мы почти у цели. Смещение d — это наша искомая величина. Исходя из 2.2, сделаем замену: $f_2(x) = f_1(x) - df'_1(x)$ откуда выведем $d = \frac{f_1(x) - f_2}{f'_1(x)}$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

2.1.2 Двумерный случай алгоритма

Теперь перейдём от одномерного случая к двумерному. Запишем разложение в ряд Тейлора для (1) и сразу отбросим все старшие производные. Вместо первой производной появляется градиент:

$$I(x + u_x, y + u_y, t + 1) = I(x, y, t) + \vec{u} \nabla I(x, y, t),$$

где $\vec{u} = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix}$ — вектор смещения. В соответствии со сделанным допущением (1). Перепишем:

$$I(x, y, t) - I(x, y, t + 1) + \vec{u} \nabla I(x, y, t) = 0,$$

Поскольку между двумя кадрами проходит единичный интервал времени, то можно сказать, что $I(x, y, t) - I(x, y, t + 1)$ есть не что иное, как производная по времени.

Заменим:

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} + \vec{u} \nabla I(x, y, t) = 0,$$

Перепишем ещё раз, раскрыв градиент:

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} + u_x \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial x} + u_y \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial y} = 0,$$

Мы получили уравнение, которое говорит нам о том, что сумма частных производных должны быть равны нулю. Проблема только в том, что уравнение у нас одно, а неизвестных в нем два: u_x и u_y . На этом моменте начинается полет фантазии и разнообразие подходов.

Сделаем третье предположение: Предположим, что смещение пикселей между двумя кадрами невелико. Рассмотрим пиксель p , тогда, по алгоритму Лукаса — Канаде, оптический поток должен быть одинаков для всех пикселей, находящихся в окне с центром в p . А именно, вектор оптического потока u_x и u_y в точке p должен быть решением системы уравнений. Очевидно, что в общем случае система не имеет

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

решения, поэтому будем искать такие u_x и u_y , которые минимизируют ошибку:

$$\begin{cases} I_x(q_1)V_x + I_y(q_1)V_y = -I_t(q_1) \\ I_x(q_2)V_x + I_y(q_2)V_y = -I_t(q_2) \\ \dots \\ I_x(q_n)V_x + I_y(q_n)V_y = -I_t(q_n) \end{cases},$$

, где q_1, q_2, \dots, q_n — пиксели внутри окна $I_x(q_i), I_y(q_i), I_t(q_i)$ — частные производные изображения I по координатам x, y и времени t , вычисленные в точке q_i . Это уравнение может быть записано в матричной форме:

$$Av = b,$$

$$A = \begin{bmatrix} I_x(q_1) & I_y(q_1) \\ I_x(q_2) & I_y(q_2) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(q_n) & I_y(q_n) \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} -I_t(q_1) \\ -I_t(q_2) \\ \vdots \\ -I_t(q_n) \end{bmatrix},$$

Полученную переопределенную систему решаем с помощью метода наименьших квадратов. Таким образом, получается система уравнений 2×2 :

$$A^T A v = A^T b,$$

откуда

$$v = (A^T A)^{-1} A^T b,$$

где A^T — транспонированная матрица A . Получаем:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i I_x(q_i)^2 & \sum_i I_x(q_i)I_y(q_i) \\ \sum_i I_x(q_i)I_y(q_i) & \sum_i I_y(q_i)^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum_i I_x(q_i)I_t(q_i) \\ -\sum_i I_y(q_i)I_t(q_i) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Вот собственно и все. Мы знаем приблизительное смещение пикселей между двумя соседними кадрами.

Поскольку в нахождении смещения каждого пикселя участвуют также соседние с ним пиксели, при реализации данного метода целесообразно предварительно посчитать производные кадра по горизонтали и вертикали.

2.1.3 Итеративный подход и субпиксельная точность

Описанный выше метод основан на трёх значительных допущениях, которые с одной стороны дают нам принципиальную возможность определить оптический поток, но с другой стороны вносят погрешность.

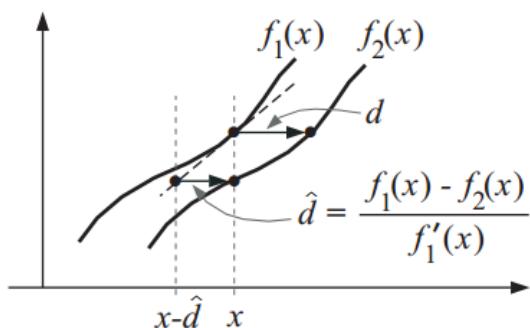


Рисунок 2.3 – Функция зависимости интенсивности от позиции пикселя

Одно из допущений нужно нам только для упрощения метода, и с его последствиями мы можем бороться. Мы предполагали, что для аппроксимации смещения нам будет достаточно первой производной. В общем случае это конечно же не так (рисунок 2.3).

Для достижение требуемой точности смещение для каждой пары кадров (назовём их F_i и F_{i+1}) можно вычислять итеративно. В литературе это называется искажением (warping). На практике это означает, что, вычислив смещения на первой итерации, мы перемещаем каждый пиксель кадра в противоположную сторону так, чтобы это смещение компенсировать.

На следующей итерации вместо исходного кадра F_{i+1} мы будем использовать его искажённый вариант F_{i+1}^1 . И так далее, пока на очередной итерации все получен-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ные смещения не окажутся меньше заданного порогового значения. Итоговое смещение для каждого конкретного пикселя мы получаем как сумму его смещений на всех итерациях.

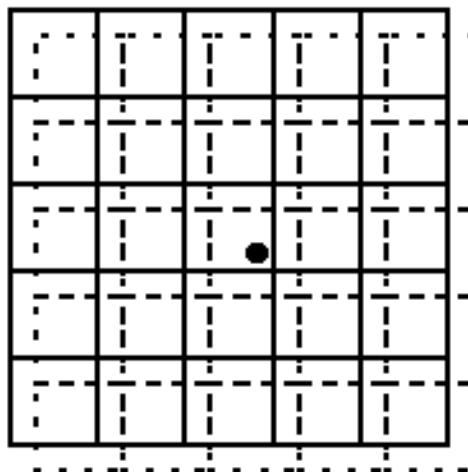


Рисунок 2.4 – Окрестность с субпиксельной точностью

Возникает одна проблема, искажённая область дискретна и состоит из пикселей. Мы не можем сместить область на значение x, y , если оно лежит в интервале $0 < |x, y| < 1$ [8]. Решением этой проблемы является — интерполяция или субпиксельная точность (рисунок 2.4).

В работе описывающей Пирамидальную версию алгоритма [9], которая подробнее описана в разделе 2.1.5, предлагалось использовать билинейную интерполяцию однако, хотелось бы попробовать другие способы интерполяции, и посмотреть на выходные результаты.

Методы интерполяции использованные для разработки и последующего тестирования:

- билинейная;
- бикубическая;
- б-сплайн.

По своей природе данный метод является локальным, то есть при определении смещения конкретного пикселя принимается во внимание только область во-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						16

круг этого пикселя — локальная окрестность. Как следствие, невозможно определить смещения внутри достаточно больших (больше размера локальной окрестности) равномерно окрашенных участков кадра. К счастью на реальных кадрах такие участки встречаются не часто, но эта особенность все же вносит дополнительное отклонение от истинного смещения.

Если интервал времени между кадрами принять за 1, получается следующий алгоритм:

$$\begin{cases} d_k = 0 & \text{if } k = 0 \\ d_{k+1} = d_k + C^{-1} \sum_W [(I(x, t) - I(x + d_k, t + 1)) \nabla I(x, t)] & \text{if } k > 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Таким образом, этот алгоритм слежения фактически является поиском точки, в которой достигается минимум некоторой функции, методом градиентного спуска. Во время каждой итерации мы сдвигаемся вдоль направления градиента изображения в текущей точке.

2.1.4 Учёт аффинных преобразований

Перемещение объекта на входящем видео потоке, описанное в разделе 2.1, одно из простейших видов движения. Существуют более сложные: сжатие, увлечение, вращение и т.д. По сути это преобразование плоскостей, называемое аффинным. При условии:

- оно взаимно однозначно;
- образом любой прямой является прямая.

Алгоритм с учётом аффинных искажений хорошо описан в работе Ши Томаси Канаде в 1994 году [10]. Движение пикселей окна описывается в виде $Ax + d$, где A — матрица (2×2) , d — смещение (2×1) .

Задача слежения за особенностью сводится к проблеме определения параметров движения и искажения окна особенности, при которой минимизируется

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

разность:

$$r = \iint_W [J(\Delta x + d) - I(x)]^2,$$

где W — окно особенности, а w — весовая функция (может использовать, а может и быть равна 1 во всем окне), $J(x)$ и $I(x)$ — два изображения.

Выражение дифференцируется относительно параметров движения, и производная приравнивается к 0. Затем система линеаризуется с помощью разложения функции изображения в ряд Тейлора:

$$J(\Delta x + d) = J(x) + g^T(u),$$

Это даст нам линейную $6 \cdot 6$ систему:

$$Tz = a,$$

где в векторе z объединены все искомые параметры:

$$z^T = [d_{xx} \ d_{yx} \ d_{xy} \ d_{yy} \ d_x \ d_y],$$

Вектор ошибки a записывается в виде:

$$a = \iint_W [I(x) - J(x)] \begin{bmatrix} xg_x \\ xg_y \\ yg_x \\ yg_y \\ g_x \\ g_y \end{bmatrix} \omega dx,$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

18

А матрицу размерности $6 \times 6 T$ можно представить следующим образом:

$$T = \iint_W [I(x) - J(x)] \begin{bmatrix} U & V \\ V^T & Z \end{bmatrix} \omega dx,$$

$$U = \begin{bmatrix} x^3 g_x^3 & x^3 g_x g_y & x y g_x^3 & x y g_x g_y \\ x^3 g_x g_y & x^3 g_y^3 & x y g_x g_y & x y g_x^3 \\ x y g_x^3 & x y g_x g_y & y^3 g_x^3 & y^3 g_x g_y \\ x y g_x g_y & x y g_y^3 & y^3 g_x g_y & y^3 g_y^3 \end{bmatrix},$$

$$V^T = \begin{bmatrix} x g_x^3 & x g_x g_y & y g_x^3 & y g_x g_y \\ x g_x g_y & x g_y^3 & y g_x g_y & y g_y^3 \end{bmatrix},$$

$$Z = \begin{bmatrix} g_x^3 & g_x g_y \\ g_x g_y & g_y^3 \end{bmatrix},$$

Полученная система решается также итеративно по методу Ньютона—Рафсона.

Если движение считается не аффинным, а просто смещением, то первые четыре элемента искомого вектора z обращаются в 0, и значимыми остаются только последние два. Соответственно все сводится к алгоритму Лукаса—Канаде.

2.1.5 Пирамидальная версия алгоритма

Пирамидальная версия или иерархический метод. В данном алгоритме важным является нахождение хорошего начального приближения для вектора скорости. Для этого обычно применяют пирамидальную версию алгоритма.

Ее идея заключается в том, что наряду с исходной парой изображений (F_i и F_{i+1}) рассматривают эти же изображения сжатые в два раза ($\frac{F_i}{2}$ и $\frac{F_{i+1}}{2}$), в четыре ($\frac{F_i}{4}$ и $\frac{F_{i+1}}{4}$) и т.д. (рисунок 2.5).

Вектора скорости находят сначала на самом верхнем уровне пирамиды и за-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						19

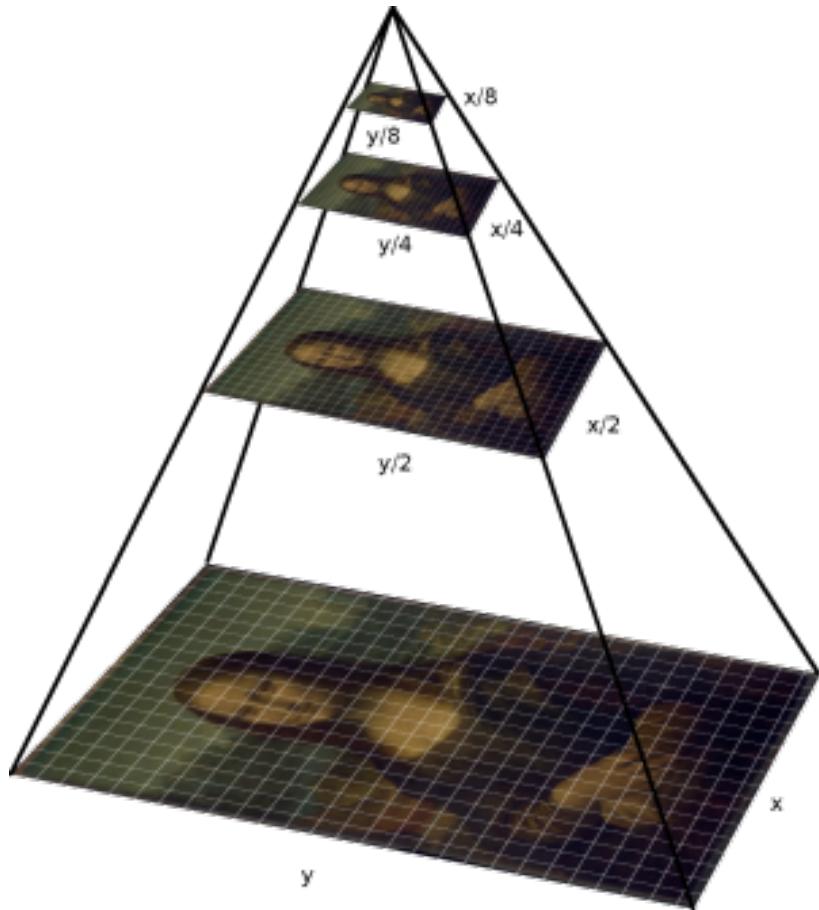


Рисунок 2.5 – Пример пирамиды Гаусса

тем спускаются вниз этаж за этажом. На самом верхнем уровне в качестве начального приближения берут нулевой вектор. На нижних уровнях за начальное приближение берут удвоенную скорость, полученную на предыдущем шаге. Все это вместе взятое обеспечивает хорошее сочетание скорости, точности и устойчивости алгоритма нахождения меж-кадрового движения в виде сдвигов [9]. Для самого первого уровня этот вектор принимается равным $(0, 0)$.

2.2 Оценка деформации

Деформация — изменение размеров и формы твёрдого тела под действием внешних сил (нагрузок) или каких-либо действий (например, температуры, электрических или магнитных полей).

При деформации точки твёрдого тела меняют своё положение. Точка с ра-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

диус—вектором r при деформации имеет новое положение r' , то есть осуществит перемещения $u = r' - r$.

Поле перемещений является одной из характеристик деформации, но оно неудобное для математического описания, поскольку, например, при удлинение стержня точки у его начала смещаются совсем мало, а в конце — довольно значительно. Гораздо важнее то, насколько точка тела сместилась относительно соседней. Поэтому деформацию математически удобнее описывать производными от перемещения, которые образуют тензор, получивший название тензора деформации.

Виды деформаций

2.2.1 Линейная деформация. Одноосный случай

Проявляется в растяжении—сжатии стержня вдоль его оси. Если выбрать в ненагруженном стержни два сечения, расположенных на определённом расстоянии и приложить к нему внешние силы, то расстояние между сечениями изменится.

Линейная деформация ε в произвольной точке тела является границей отношение прироста длины δL к исходной длины L , когда сама длина стремится к нулю.

$$\varepsilon = \lim_{L \rightarrow 0} \frac{\delta L}{L},$$

То есть при определении деформации в точке рассматриваются изменения в ее непосредственном окрестности. Общий случай

Для произвольного тела, испытывающего произвольного деформирования значение линейных деформаций может отличаться в зависимости от направления, в котором они рассматриваются. В этом случае линейные деформации рассматриваются в проекциях на оси декартовых координат. Тогда деформация отрезка АВ, лежит на оси х и точка В которая после деформации переместится в т. В' запишется как:

$$\varepsilon_x = \lim_{B \rightarrow A} \frac{|AB'| - |AB|}{|AB|},$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

21

Проведя подобный анализ для оси y можно получить соответственно ε_y .

Имея это поле перемещений \vec{u} (компоненты вектора перемещений для всех точек тела) запишем компоненты тензоров деформации для декартовой системы координат.

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} \end{bmatrix},$$

Компоненты рассчитываются путём численного дифференцирования полученного поля смещений. Выражения для продольной ε_{xx} , поперечной ε_{yy} , сдвиговой ε_{xy} и поворотной ω_z компонент тензора дисторсии:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{dU_x}{dx}, \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{dU_y}{dy}, \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{dU_x}{dy} + \frac{dU_y}{dx} \right), \quad (2.7)$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{dU_y}{dx} - \frac{dU_x}{dy} \right), \quad (2.8)$$

Также выражение для интенсивности деформации сдвига γ_i

$$\gamma_i = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + \varepsilon_{yy}^2 + \varepsilon_{xx}^2 + \frac{3}{2} \varepsilon_{xy}^2}, \quad (2.9)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

3 Конструкторско-технологическая часть

3.1 Программная платформа и язык программирования

Для решения поставленной задачи необходимо использовать функциональную, эффективную и удобную платформу для разработки. В качестве такой платформы была выбрана среда разработки Qt Creator. Qt - это кросс-платформенная библиотека C++ классов для создания графических пользовательских интерфейсов (GUI) от фирмы Digia. Эта библиотека полностью объектно-ориентированная, что обеспечивает лёгкое расширение возможностей и создание новых компонентов. Ко всему прочему, она поддерживает огромнейшее количество платформ.

Qt позволяет запускать написанное с его помощью ПО в большинстве современных операционных систем путём простой компиляции программы для каждой ОС без изменения исходного кода. Включает в себя все основные классы, которые могут потребоваться при разработке прикладного программного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса и заканчивая классами для работы с сетью, базами данных и XML. Qt является полностью объектно-ориентированным, легко расширяемым и поддерживающим технику компонентного программирования.

Список использованных классов фреймворка Qt:

- QDebug;
- QDir;
- QFile;
- QTextStream;
- QSrting;
- *QImage;
- QTime.

Класс QDebug обеспечивает выходной поток для отладочной информации.

Класс QDir обеспечивает доступ к структуре каталогов и их содержимого.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

23

Класс QFile предоставляет интерфейс для чтения и записи файлов.

Класс QTextStream предоставляет удобный интерфейс для чтения и записи текста.

Класс QString обеспечивает строку символов Unicode.

Класс QImage предоставляет аппаратно-независимую работу с изображениями, даёт прямой доступ к данным каждого пикселя, и может быть использован в качестве устройства рисования. На ранних стадиях создание ПО это класс использовался в качестве основного инструмента для работы с изображениями, но впоследствии при переходе на основные модули библиотеки DV стал использовался объект Data2D, и методы работы с ними.

Класс QTime обеспечивает функции таймера. В проекте используется для оценки быстродействия разрабатываемого модуля при разных входных параметрах [11].

Список стандартных библиотек используемых в проекте:

- getopt.h;
- iostream;
- math.h;
- stdlib.h;
- vector.

getopt библиотечная функция, специально разработанная для того чтобы облегчить обработку входных команд.

iostream заголовочный файл с классами, функциями и переменными для организации ввода-вывода в языке программирования C++. Он включён в стандартную библиотеку C++. Название образовано от Input/Output Stream (“поток ввода-вывода”).

math.h — заголовочный файл стандартной библиотеки языка программирования С, разработанный для выполнения простых математических операций.

stdlib.h — заголовочный файл стандартной библиотеки языка Си, который со-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

держит в себе функции, занимающиеся выделением памяти, контроль процесса выполнения программы, преобразования типов и другие.

vector.h — это замена стандартному динамическому массиву, память для которого выделяется вручную, с помощью оператора new.

Список классов и методов библиотеки DV используемых в проекте:

- Data2D;
- Matx22d;
- Vec2d;
- VF2d.

3.1.1 Использование системы контроля версий

Система контроля версий (СКВ) — это система, регистрирующая изменения в одном или нескольких файлах с тем, чтобы в дальнейшем была возможность вернуться к определённым старым версиям этих файлов.

Для разработки программного комплекса решено использовать Git.

Git — распределённая система управления версиями файлов. Проект был создан Линусом Торвальдсом для управления разработкой ядра Linux, как противоположность системе управления версиями Subversion (также известная как «SVN») [12].

Преимущества использования системы версий, очевидны:

- возможность возвращать к прежнему состоянию отдельные файлы или весь проект;
- возможность удалённой работы с текстами программ;
- доступ к последним изменениям в коде, т.к. всё хранятся на сервере github.com;
- тексты программ открыты, доступ к ним можно получить доступ в интернет;
- просматривать происходящие со временем изменения.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

25

Основные постулаты работы в системе Git:

- каждая задача решается в своей ветке;
- сохраняем изменения сразу, как что-то получили осмысленное;
- все сохранённые изменения должны быть осмысленно подписаны/прокомментированы.

Repository created in order to write a graduate work on specialty 220301 — Edit

119 commits 3 branches 5 releases 1 contributor

branch: master graduate-work / +

Merge pull request #18 from IgorPolyakov/develop ...

IgorPolyakov authored 9 days ago latest commit 0e7ef4e645

File	Commit Message	Date
input	style(test_img): add new texture, move other to subdirectories	21 days ago
src	feature(lk_func): save large deformation field	12 days ago
.gitignore	update .gitignore & update clean.sh	27 days ago
AUTHORS	Rewrite README	2 months ago
CMakeLists.txt	style(main): corrected grammatical errors	14 days ago
LICENSE	Initial commit	5 months ago
README.md	docs(README): update install info	23 days ago
build.sh	fix(lukas_kanade.qml): checkbox work	18 days ago
clean.sh	style(main): corrected grammatical errors	14 days ago
conf.doxy	Fix comment, fix configure doxygen file	3 months ago
generate_changelog.sh	write change log	2 months ago
lucas_kanade.qml	style(main): fix text	13 days ago
run.sh	fix(run): script work now	11 days ago

SSH clone URL
git@github.com:IgorPolyakov/graduate-work.git
You can clone with [HTTPS](#), [SSH](#), or [Subversion](#).

Code Issues (3) Pull requests (0) Wiki Pulse Graphs Settings Download ZIP

Рисунок 3.1 – Тексты программ в репозитории github

Для работы над проектом был использован репозиторий на сервере github.com. Слепок последних изменений из репозитория можно взять по адресу: `git clone git@github.com:IgorPolyakov/graduate-work.git`

3.2 Структурно функциональная схема программного обеспечения

Программное обеспечение состоит из нескольких блоков, представленных на рисунке 3.2.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						26

- ПО для оценки деформации “Deformation Analysis”;
- форма для ввода входных параметров “strain_calculate.qml”;
- ПО для расчёта деформации твердого тела “lucas_kanade”.

Программное обеспечение “Deformation Analysis” разрабатывалась сотрудниками ИФПМ и служит средством для запуска отдельного программного модуля расчёта деформации твёрдого тела и отображения выходных результатов.

Разрабатываемый модуль на рисунке 3.2 (обведён штриховой рамкой). Форма “strain_calculate.qml” является более удобным способом запуска основного приложения. Текст формы находится в приложении А.

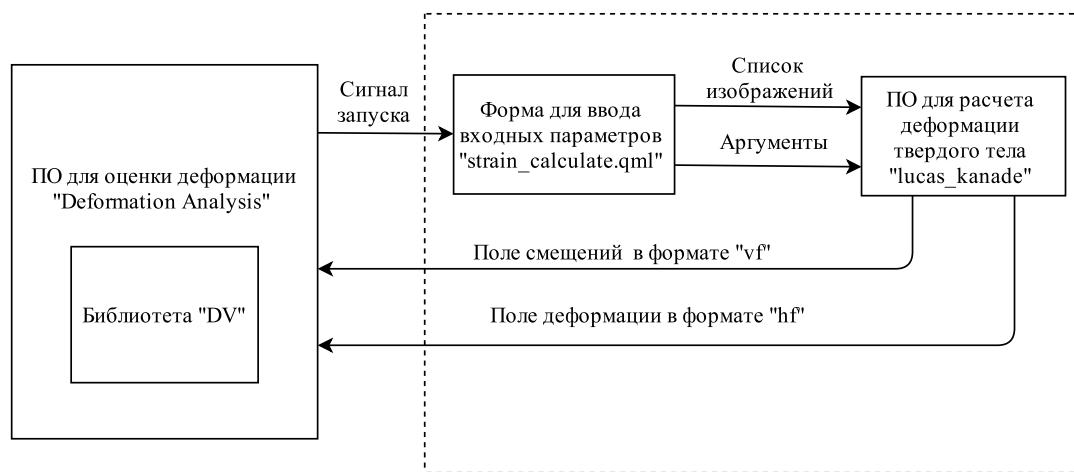


Рисунок 3.2 – Структура разработанного ПО

Структурно–функциональная схема (рисунок 3.3) соответствующая стандарту IDEF0. На схеме обозначены входящие в него функциональных элементы. В связях надлежит доступными средствами выделить различные виды информационных потоков: символьные и кодовые массивы, бинарные сигналы индикации и управления, событийную информацию.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



Рисунок 3.3 – Функциональная схема

3.3 Сведения о платформе реализации с указанием основных функций операционной системы, необходимых для работы модуля

3.3.1 Минимальные требования к аппаратному обеспечению

Минимальные системные требования [13]:

- процессор 1ГГц Pentium 4;
- оперативная память 512 Мб;
- место на жёстком диске – 9 Гб.

3.3.2 Минимальные требования к программному обеспечению

Для корректной работы разрабатываемого программного комплекса на компьютере должна быть установлена операционная система Debian Squeeze или выше, данная система должна иметь набор библиотек Qt, CMake и DV.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------



Рисунок 3.4 – Структура HDF5 файла

3.4 Выбор формата выходных файлов

Для вывода результата был выбран формат файла HDF5.

Hierarchical Data Format, HDF (Иерархический формат данных) — название формата файлов, разработанного для хранения большого количества цифровой информации.

HDF5 — современная версия формата содержит иерархию из двух основных типов объектов: HDF-Structure-Example

- 1) Datasets — наборы данных, многомерные массивы объектов одного типа
- 2) Groups — группы, являются контейнерами для наборов данных и других групп

Содержимое файлов HDF5 организовано подобно иерархической файловой системе, и для доступа к данным применяются пути, сходные с POSIX-синтаксисом, например, /path/to/resource. Метаданные хранятся в виде набора именованных атрибутов объектов [14].

Структура сохранения результатов работы представлена на рисунке 3.4

Под блоком исходные обрабатываемые изображения подразумевается входная пара изображений (левая, правая) в форматах png, bmp, jpg, tiff и др. В выходном файле они представлены двумя слоями: “left” и “right”. Они необходимы для удобства просмотра в программе Defomation-Analysis. Программа Defomation-Analysis умеет выводить отдельные слои и накладывать их друг на друга.

Блок векторное поле смещений является бинарным файлом, формата “vf”.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						29

Слой содержит информацию о размерах исходного изображения, координаты векторов смещений и векторы в формате double (формула 2.3).

Блок поля деформации также является бинарным файлом и содержит слои деформации:

- 1) ε_{xx} - продольная (формула 2.5);
- 2) ε_{yy} - поперечная (формула 2.6);
- 3) ε_{xy} - сдвиговая (формула 2.7);
- 4) w_i - поворотная (формула 2.8);
- 5) γ_z - интенсивность деформации сдвига (формула 2.9).

3.5 Документирование ПО

Для облегчения написания документации к текстам программ, воспользуемся генератором документации. Так как у автора работы есть опыт использования системы Doxygen, то она и будет использована.

На вход такого генератора поступает специальным образом комментированный текст программы, а иногда и другие компоненты программы, а на выходе создаётся готовая документация для распространения и использования.

Используемая система Doxygen как раз и выполняет эту задачу: она позволяет генерировать на основе исходного кода, содержащего комментарии специального вида, красивую и удобную документацию, содержащую в себе ссылки, диаграммы классов, вызовов и т.п. в различных форматах: hTML, LaTeX, CHM, RTF, PostScript, PDF, man-страницы.

Документация собранная системой Doxygen представления в приложении Б.

3.6 Основные алгоритмы работы, программных модулей

Основной алгоритм работы представлен на рисунке 3.5. Для удобства, крупное блоки вынесены в отдельные блок-схемы и представлены на рисунках 3.6 и 3.7. Основной алгоритм работы представлен на рисунке 3.5. После старта програм-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист 30

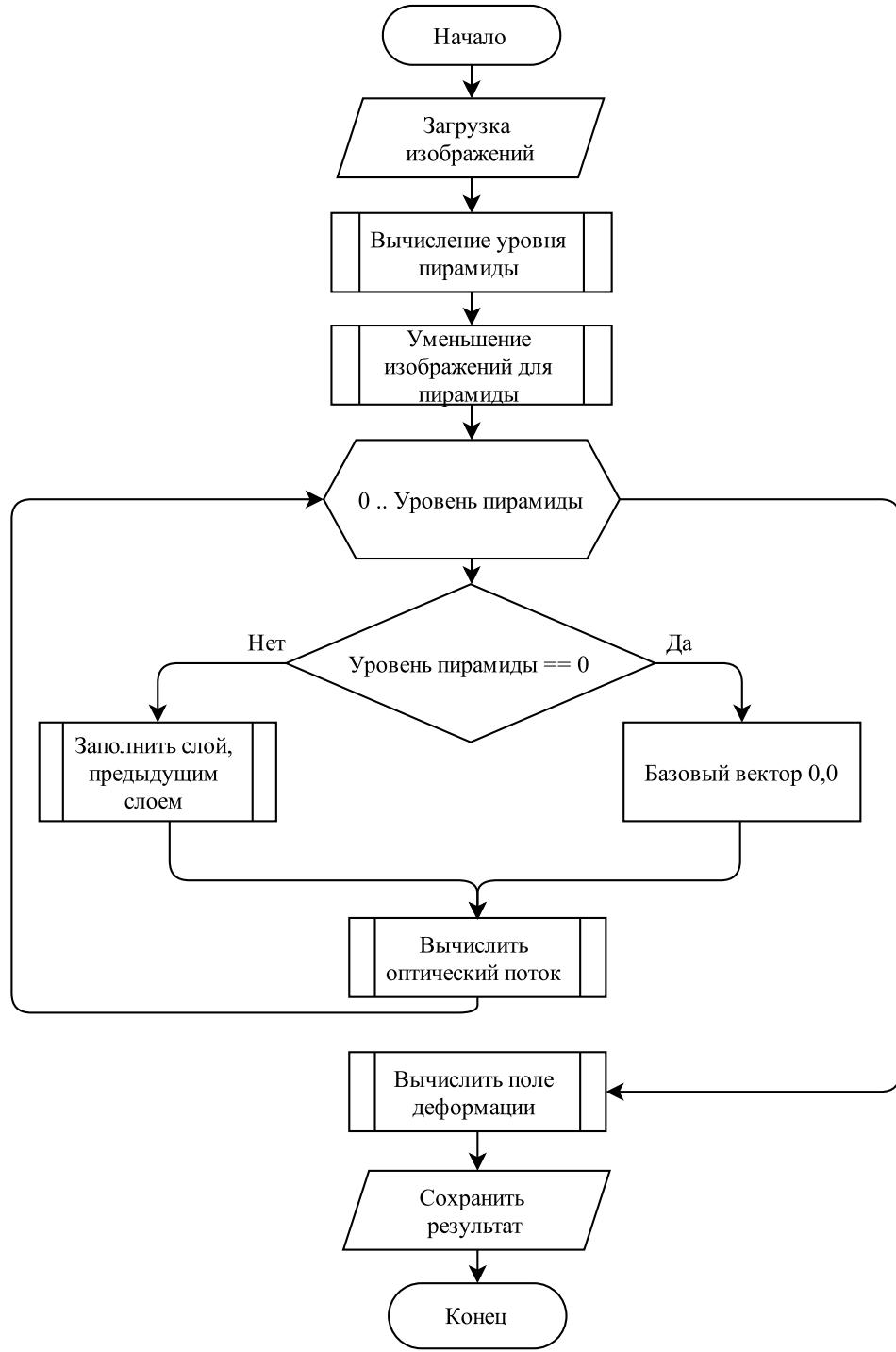


Рисунок 3.5 – Общий алгоритм работы

мы, обрабатываемые изображения последовательно загружаются в память. Если опция пирамидалного алгоритма – включена, то выполняется процедура вычисления уровня пирамиды, описанная на рисунке 3.6. Затем создаются уменьшенные копии оригинальных изображений. Как следует из (2.4) на самом верхнем уровне пирамиды, базовым задаётся нулевой вектор. На всех последующих уровнях, базовый вектор

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

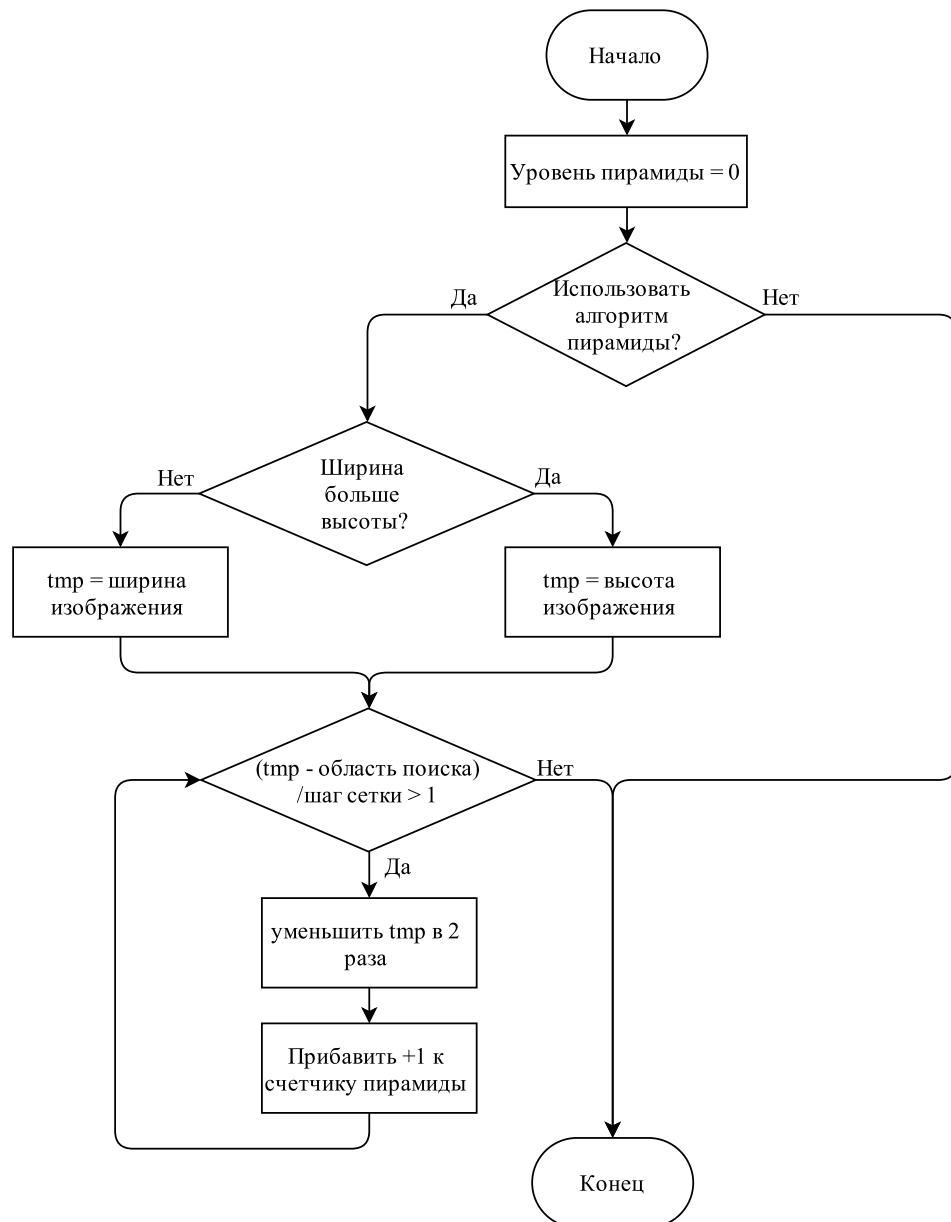


Рисунок 3.6 – Алгоритм вычисления уровня пирамиды

тор, это вектор с предыдущего уровня пирамиды. Соответственно для каждого слоя вычисляется оптический поток, в заданных точках. Алгоритм расчёта оптического потока представлен на рисунке 3.7.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

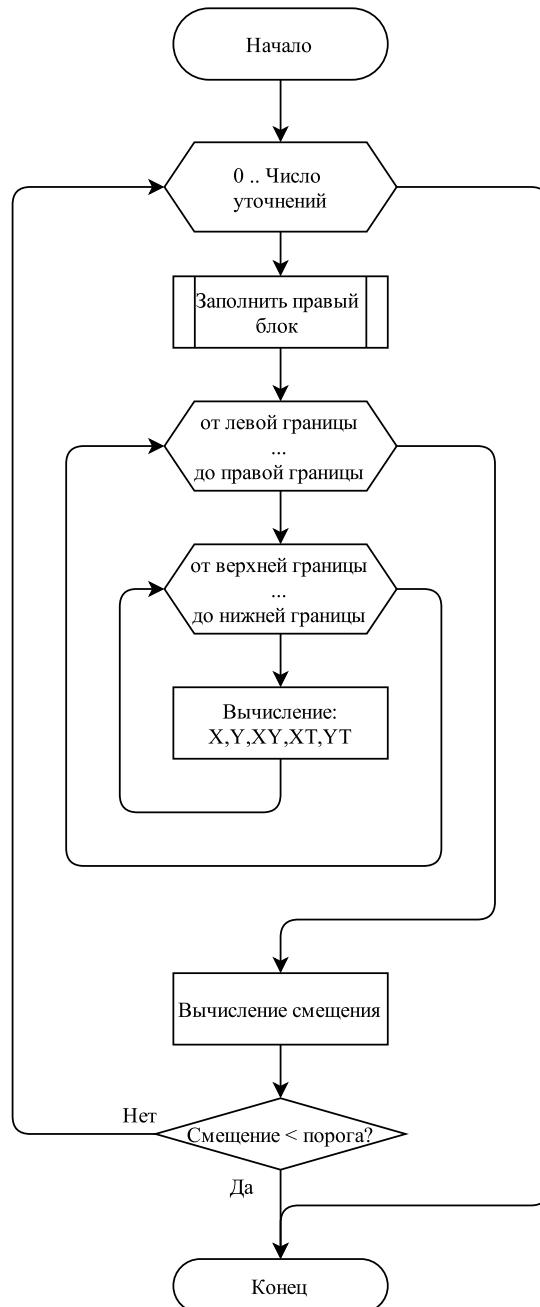


Рисунок 3.7 – Алгоритм вычисления оптического потока

3.7 Интерфейс разрабатываемого программного обеспечения

3.7.1 Описание консольного интерфейса программы

Интерфейс программы представлен в двух реализациях. Первый — консольная программа в стиле классического Unix. Интерфейс командной строки более гибкий, позволяет выставить необходимые опции/флаги и запустить программу.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Особенности в сравнении с графическим интерфейсом:

- интерфейс командной строки позволяет писать скрипты для автоматизации запуска и тестирования с различными входными параметрами, что средствами графического интерфейса гораздо сложнее;
- большая функциональность;
- некая сложность при использовании неопытным пользователям;
- невозможность просмотра выходных результатов.

```
consol'ka
consol'ka
fox@acer ~/project/dv/graduate-work $ ./graduate-work-build/bin/lucas_kanade -h

NAME: Lucas-Kanade
      Usage to EXEC lucas_kanade -l <list_of_image>
      Version: 1.4-5-gb703b7a
      Branch: refs/heads/report_diplom
      Build date: 25 мая 2015 16:13:11

DESCRIPTION:
      Application created in order to write a graduate work on specialty 220301

      -l      load list path image
      -o      output directory
      -i      count iteration (10 by default)
      -w      size window search (24 by default)
      -g      step for grid (16 by default)
      -p      pyramid mod (enable by default)
      -v      show version
      -b      use interpolation method (0 - B-spline, 1 - Bilinear, 2 - Bicubic), 0 by default
      -h      show help
      -d      create more log (disable by default)

fox@acer ~/project/dv/graduate-work $
```

Рисунок 3.8 – Пример консольного интерфейса в среде Linux

Перечень команд для запуска:

- l — список изображений для обработки;
- o — директория для выходных результатов;
- i — число уточнений при поиске смещённой части (по умолчанию равна 10);
- w — радиус окна поиска (по умолчанию равна 24);
- g — шаг между векторами оптического потока(по умолчанию равна 16);
- p — применить метод пирамиды (по умолчанию опция включена);
- v — показать версию программного обеспечения;
- b — использование метода интерполяции (0 — Б-сплайн, 1 — Билинейная, 2 — Бикубическая), по умолчанию 0;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

- h — показать краткую справку;
- d — генерировать подробный лог файл(по умолчанию опция выключена).

3.7.2 Описание графического интерфейса программы

Второй графический — более удобный для неопытного пользователя. Общий вид ПО приведен на рисунке 3.9. Главное окно приложения включает в себя:

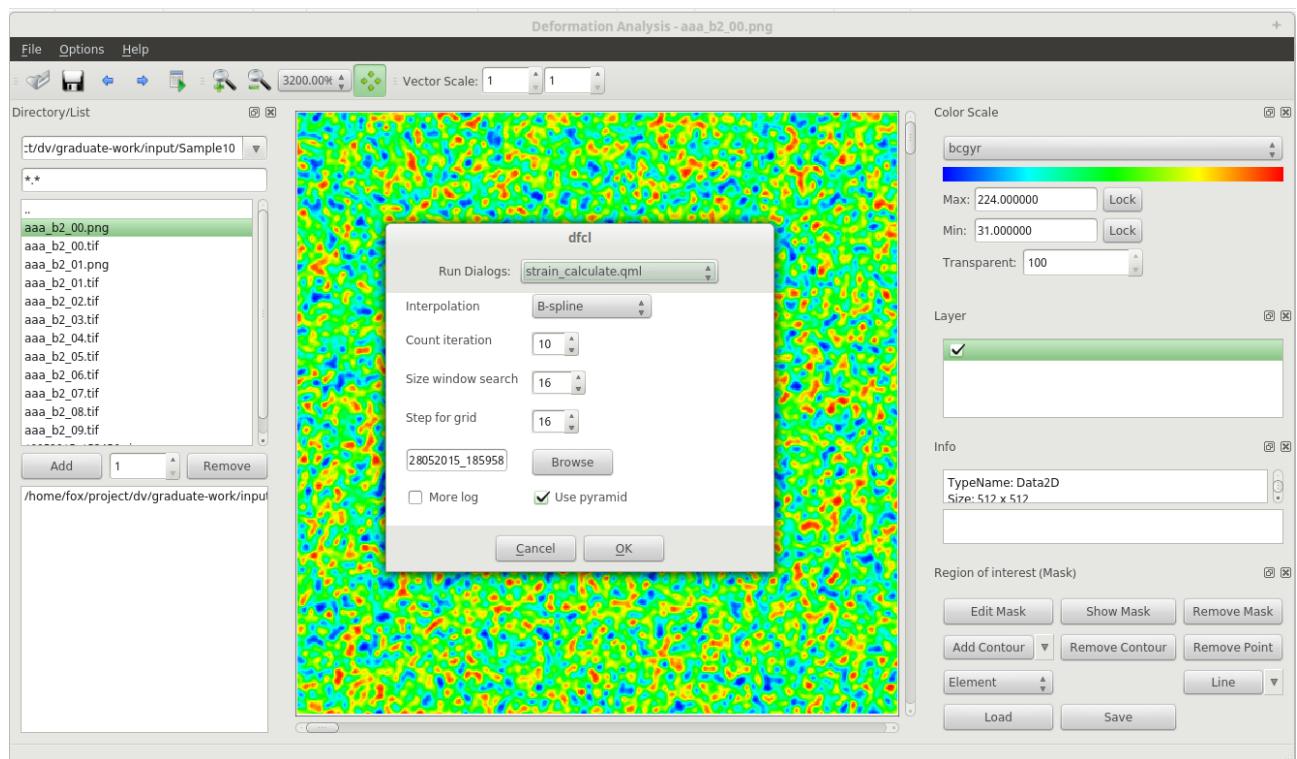


Рисунок 3.9 – Пример графического интерфейса

- окно просмотра документа;
- список файлов в директории;
- главное меню;
- панели инструментов;
- список файлов добавленных на обработку.

Форма запуска приложения, содержит большинство описанных ранее функций:

- метод интерполяции;
- число уточнений при поиске смещённой части (задаётся в диапазоне от 10

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

до 100);

- радиус окна поиска (по умолчанию равна 24);
- шаг между векторами оптического потока (по умолчанию равна 16);
- директория для выходных результатов;
- режим логов;
- режим пирамиды.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

36

4 Тестирование программного обеспечения

Тестирование на парах модельных изображений и на изображениях поверхностях реальных образцов.

4.1 Образцы изображений

4.1.1 Модельные изображения

Модель многослойного изображения. Модельное изображение (рисунок 4.1) получали из заданного количества слоёв псевдослучайных чисел; при этом каждый слой соответствует определённой пространственной частоте [15]. Первый слой некоторого заданного исходного размера заполняется псевдослучайными значениями с равномерным распределением. Затем размер данного слоя увеличивается в два раза с помощью интерполяции бикубическим В-сплайнам. Второй слой формируется аналогично первому, но перед увеличением его размера он складывается попиксельно с первым. Итеративно генерируются несколько слоёв, и на каждой итерации конечный размер изображения увеличивается в два раза. После генерации всех слоёв, проводится масштабирование и нормировка яркости в диапазоне от 0 до 255. Таким образом, имея начальный слой размером 4×4 пиксела, после проведения 8 итераций, получаем модельное изображение размером 1024×1024 пикселов.

Модель спекла (окрашенной поверхности). При создании модельного изображения спекла (рисунок 4.1) (вторая серия) стояла задача создания изображения подобного экспериментально получаемым при фотографировании образца (рисунок 4.2). Для этого изображение “заливали” цветом, подобным по тону оттенку поверхности образца на экспериментально регистрируемых фотографиях. Затем в “случайно” заданных (по нормальному закону распределения) участках генерировали окружности (имитирующие капли распыляемой краски – пятна спекла), радиусом (0 до 10 пикселов), уровень (градация) серого которых задавался случайнм образом.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

37

Так же в качестве образцов брались наборы изображений из интернет ресурса “Society for Experimental Mechanics (sem.org)” описание текстур находится в таблице 4.1, текстуры изображены на рисунке 4.1.

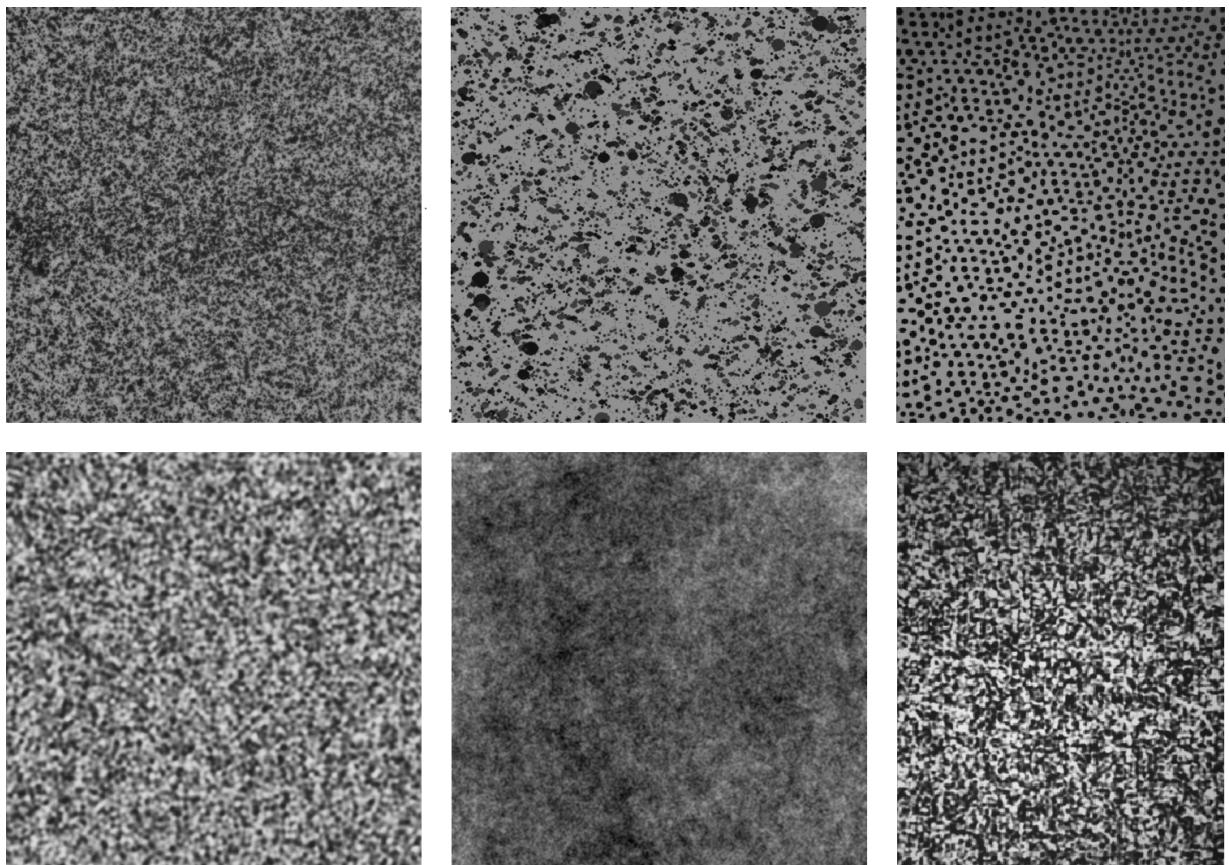


Рисунок 4.1 – Серия изображений: Модель многослойного изображения, Модель спекла, Высокий контраст, Prosilica Bin , Strain Gradient №1, Strain Gradient №2

Таблица 4.1 – Описание модельных изображений

Серия	Диапазон яркостей	Уровень шума	Сдвиг (px)	Размеры
Модель многослойного изображения	0-188	Нет	1-20	510x510
Модель спекла	0-188	Нет	1-70	512x512
Высокий контраст	10-240	Низкий	0.1-1	487x325
Prosilica Bin	10-156	Низкий	0.1-1	487x325
Strain Gradient №1	20-185	Средний	0.01-1	512x512

Strain Gradient №2	30-225	Средний	0.01-1	512x512
--------------------	--------	---------	--------	---------

4.1.2 Реальные отснятые изображения

Реально отснятые изображения предоставлены сотрудником ИФПМ СО РАН.

На первой серии (рисунок 4.2) изображён металлический образец из авиационного алюминиевого сплава Д16АТ нагружавшиеся на механической испытательной машине ИМАШ-2078 в условиях одноосного статического растяжения. Размеры предоставленных изображений 1920x1280 пикселей.

На второй серии (рисунок 4.3) изображён углерод-углеродный композиционный материал. Образец испытывали на одноосное статическое растяжение на электро-механической машине Instron 5582 со скоростью перемещения подвижного захвата 0,3 мм/мин.

Фотографирование поверхности осуществляли с помощью фотокамеры Canon EOS 550D, оснащённой длиннофокусным объективом Canon EF-S 100-400mm 1/4-5.6 IS.

4.2 Оценка быстродействия

Для проведения расчётов использовали ПЭВМ со следующими характеристиками:

Аппаратная составляющая:

- процессор Intel(R) Core(TM) i3 370M @ 2,4 ГГц, 64-бит;
- оперативная память 4 Гб, 1067 МГц;
- материнская плата Aspire 5733z;
- жёсткий диск SSD Smartbuy 120 Гб;
- файловая система ext4, 107 Гб.

Программная составляющая:

- операционная система Linux Mint 3.19-18;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						39

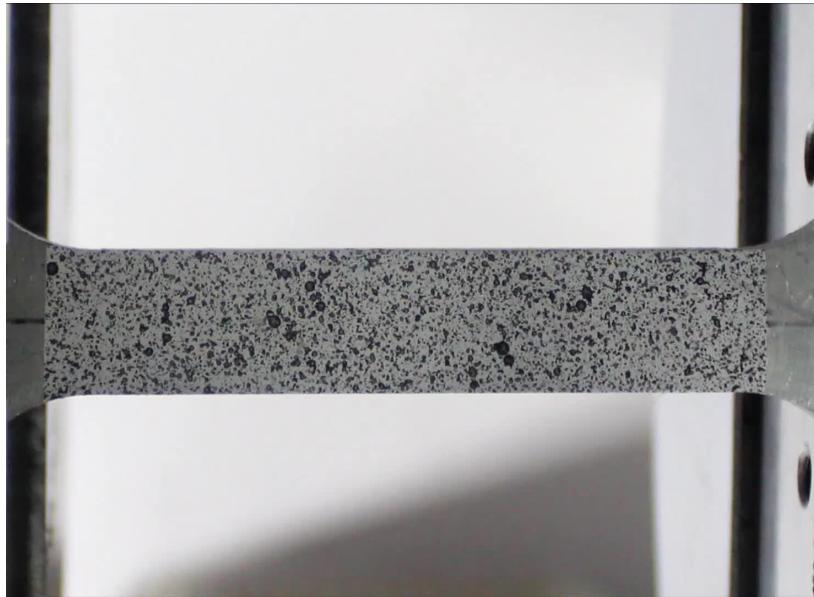


Рисунок 4.2 – Раcтяжение пластины алюминия D16AT

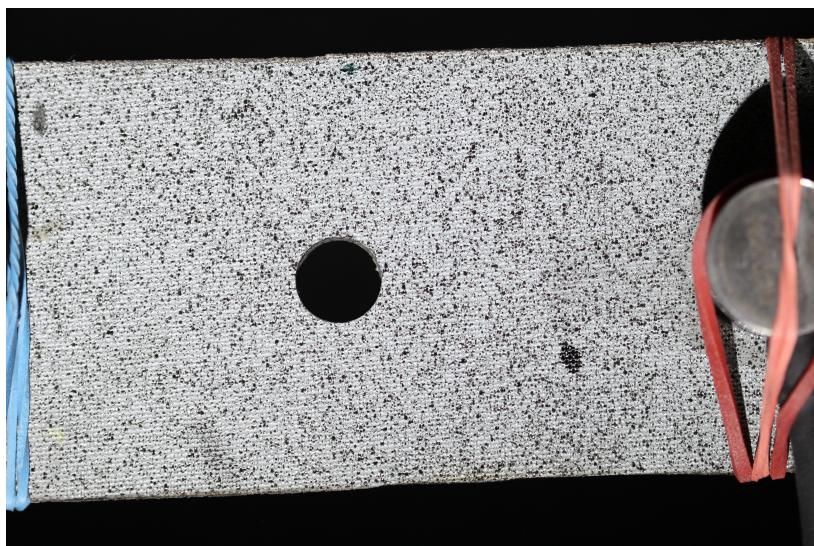


Рисунок 4.3 – Углерод-углеродный композиционный материал

- версия cmake 3.2.1;
- версия QMake 3.0 & Qt version 5.2.1;
- версия компилятора gcc (Ubuntu 4.8.2-19ubuntu1) 4.8.2;
- оболочка для среды рабочего стола Cinnamon 2.4.8.

Для исследования точности и быстродействия алгоритмов были использованы описанные ранее серии изображений.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

40

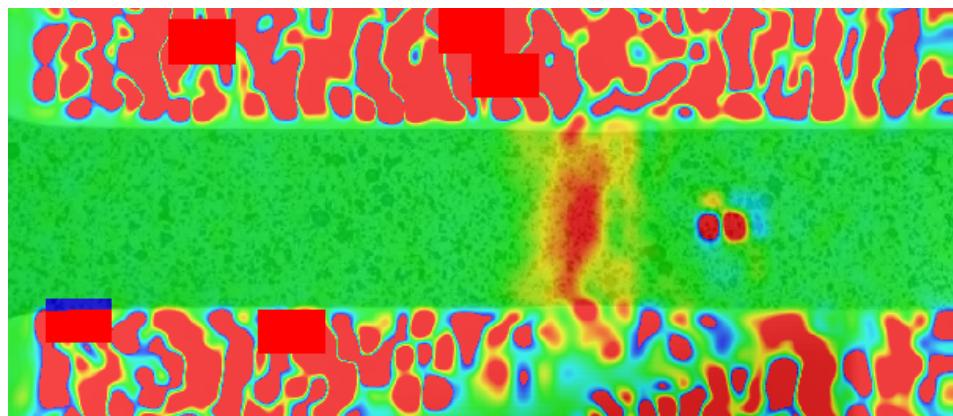


Рисунок 4.4 – Результат работы программы: верхний слой исходное изображение с 30% альфа каналом, нижний слой – поле деформации по оси x

4.3 Тестирование программного обеспечения

4.3.1 Тестирование на модельных изображениях

Программное обеспечение будет тестироваться по модели белого ящика. Входные данные для тестирования описаны в разделе 4.1.1, алгоритм работы описан на рисунке 3.2.

Чтобы определить погрешность работы программы, мы используем модельное изображение (рисунок 4.1 а), и сдвинем исходный рисунок по оси x на один пиксель влево, по y сдвиг отсутствует. В таком случае, программа должна вычислить оптический поток, уловить этот общий сдвиг, а после построить поле деформации. Так как сдвиг по всему изображению равномерный то и деформация в этом случае отсутствует. Соответственно после расчёта программа вернёт нулевое поле (поле, заполненное нулями), все значения отличные от нуля, будут считаться ошибкой.

4.3.2 Тестирование на экспериментально полученных изображениях

В данном разделе приведены результаты тестирования разрабатываемого программного обеспечения на изображениях поверхностей реальных образцов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

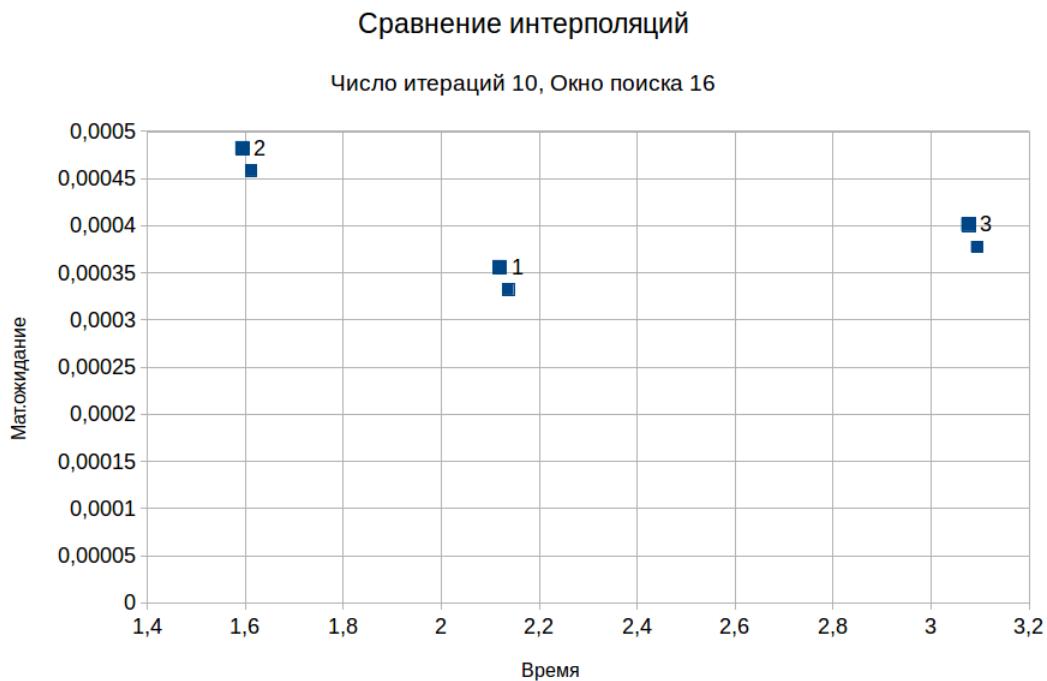


Рисунок 4.5 – Сравнение методов интерполяции

4.4 Исследование метода интерполяции

В работе рассматривались три метода интерполяции:

- билинейная;
- бикубическая;
- б-сплайн.

Как сказано ранее, все существующие методы направлены либо на улучшение быстродействия, либо на шумостойкость. Соответственно, сравнятся будет уровень ошибки для разных реализаций, и время работы (рисунок 4.5).

Билинейный имеет наилучшее быстродействие, что очевидно и до этого. Но не так точен, как остальные методы интерполяции. Б-сплайн более точен, но и более медленный. Бикубическая интерполяция показывает схожий результат по точности с б-сплайном, только чуть лучше, но время работы значительно больше двух других методов. Исходя из выше сказанного, решено использовать для остальных тестирований б-сплайновую интерполяцию, т.к. он подобие золотой середины, с одной

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

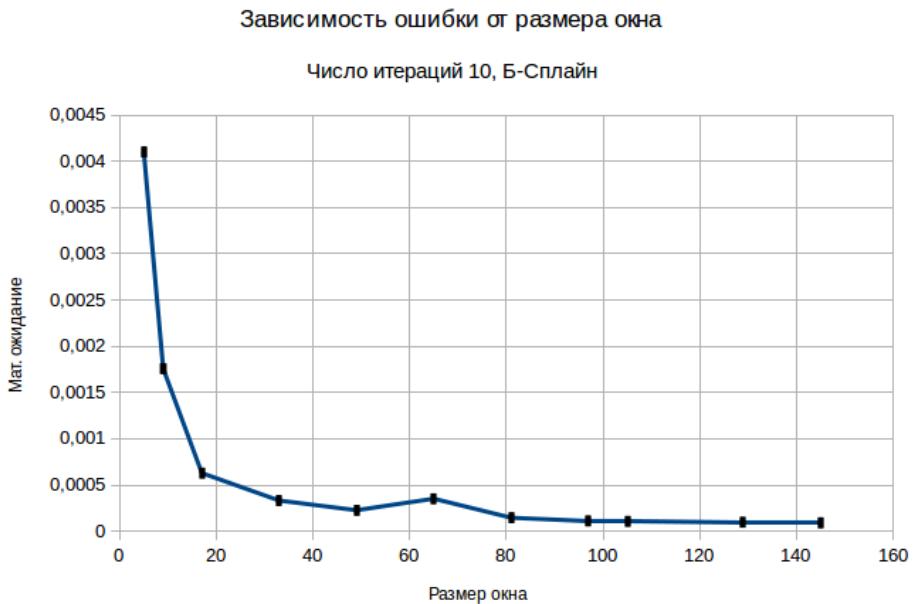


Рисунок 4.6 – Величина ошибки в зависимости от размера окна корреляции

стороны более точный результат, с другой не такой медленный как бикубическая интерполяция.

4.5 Исследование размера окна поиска

Тут некое вводное слово добавить. Оно показывает зависимость ошибки от размера окна корреляции. Так же нужно помнить, что реализованный алгоритм – локален и не может вычислить сдвиг больший чем заданное окно. Однако с увеличением размера окна, возрастёт число вычислений, соответственно время работы программы увеличивается, это зависимость представлена на рисунке 4.6.

4.6 Исследование числа итераций

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

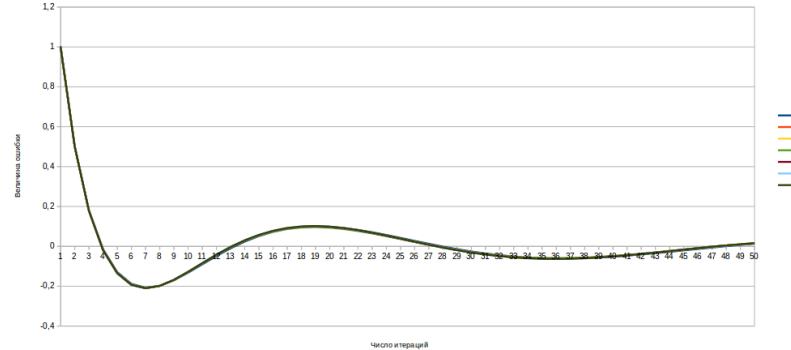


Рисунок 4.7 – Величина ошибки от числа итераций

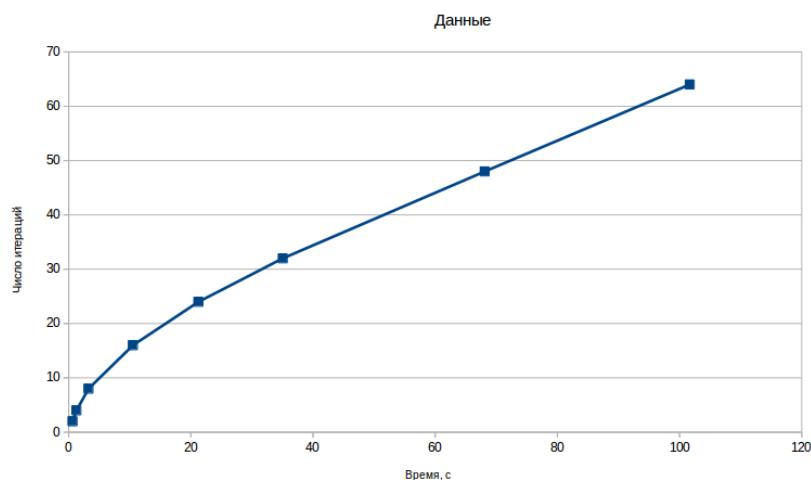


Рисунок 4.8 – Время работы программы, в зависимости от размера окна

5 Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте

Производственный фактор, воздействие которого на работающего человека, в определённых условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, называется опасным. Если же производственный фактор приводит к заболеванию или снижению работоспособности, то его считают вредным (ГОСТ 12.0.002-80) [16].

В зависимости от уровня и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

В целях предупреждения травматизма и профессиональных заболеваний при

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						44

воздействии опасных и вредных производственных факторов (ОПФ и ВПФ) на предприятиях применяются меры по их предупреждению и устраниению, а также снижению степени воздействия на работников.

Согласно ГОСТ 12.0.003 – 74 “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация” [17], все опасные и вредные производственные факторы делятся по природе воздействия на следующие группы:

- 1) физические;
- 2) химические;
- 3) биологические;
- 4) психофизиологические.

Из всех перечисленных факторов в наших условиях работы на организм действуют только физические и психофизиологические опасные и вредные производственные факторы.

К физическим опасным и вредным производственным факторам можно отнести:

- 1) недостаточная освещённость помещения. Качество поступающей информации во многом зависит от освещения. Недостаточное освещение не только утомляет глаза, но и вызывает утомление организма в целом. При неудовлетворительном освещении снижается производительность труда и увеличивается брак;
- 2) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. Системный блок и монитор ЭВМ питаются от бытовой сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц;
- 3) повышенный уровень неионизирующих электромагнитных полей и излучений в рабочей зоне;
- 4) повышенный уровень шума. Одним из важнейших параметров, наносящим ущерб для здоровья и снижающим производительность труда, является шум. Шум может создаваться как работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, работающими осветительными приборами дневного света, так и про-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

45

никать извне. Действие шума различно: он затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает необратимые изменения в органах слуха человека. Шум воздействует не только на органы слуха, но и на весь организм человека через центральную нервную систему. Ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе;

5) неудовлетворительное состояние параметров микроклимата. Количество теплоты, выделяемое человеком в окружающую среду, и охлаждающая способность среды должны быть адекватны, то есть человек должен себя чувствовать комфортно. В противном случае у человека возникают беспокоящие его температурные ощущения холода или перегрева, отрицательно сказывающиеся на его самочувствии и работоспособности;

6) возможность возникновения пожара. Во время работы с электрооборудованием в сети переменного тока может возникнуть перегрев и воспламенение самого оборудования или его обшивки.

К психофизиологическим факторам согласно ГОСТ 12.0.003-74 [17] можно отнести такие факторы как:

- 1) физические (статические) перегрузки;
- 2) нервно-психические перегрузки.

В процессе работы инженер не подвержен воздействию химических и биологических производственных факторов.

5.2 Требования и защитные мероприятия в области БЖД

5.2.1 Освещение

Информация, которую человек получает из внешнего мира, поступает в основном через зрительный канал. Поэтому качество информации, получаемой посредством зрения, во многом зависит от освещения. Неудовлетворительное освещение

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист 46

может исказить информацию; кроме того, оно утомляет не только зрение, но вызывает утомление организма в целом. Неправильное освещение может также, являясь причиной травматизма: плохо освещённые опасные зоны, слепящие лампы и блики от них, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю ориентации работающих.

На практике пользуются двумя видами освещения — естественным и искусственным.

При освещении помещений, согласно СНиП 23-05-95 “Естественное и искусственное освещение” [18], необходимо соблюдать следующие требования:

- 1) естественное освещение должно осуществляться через светопроёмы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток, и обеспечивать коэффициент естественной освещённости не ниже 1.2 %;
- 2) освещенность рабочего места пользователя ПЭВМ должно быть 200-400 лк (IV (в) разряд зрительных работ, “Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95” [18]);
- 3) для освещения зоны расположения документов допускается установка светильников местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещённость экрана более 300 лк;
- 4) в поле зрения оператора должно отсутствовать прямая и отражённая блескость;
- 5) на рабочем месте оператора должно быть ограничена пульсация освещённости от газоразрядных источников света;
- 6) в качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. Допускается применение ламп накаливания в светильниках местного освещения.

Рассчитаем реальную освещённость на рабочем месте. Целью данного расчёта является проверка соответствия освещённости в рабочем помещении норме освещённости согласно СНиП 23-05-95 [18].

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

47

Проведём проверочный расчёт освещённости методом коэффициента использования светового потока.

Освещённость определяется по формуле:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot \eta}{k \cdot S \cdot z}, \quad (5.1)$$

где F – световой поток каждой из ламп, лм;

N – число источников света;

η – коэффициент использования светового потока;

k – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источников света;

S – площадь помещения, м²;

z – коэффициент неравномерности освещения.

Определим данные для расчёта.

Коэффициент k для помещений, освещаемых лампами и при условии чистки светильников не реже двух раз в год берётся равным 1,4 – 1,5.

При оптимальном расположении светильников коэффициент неравномерности z равен 1,1 – 1,2.

Коэффициент использования светового потока η зависит от типа светильника, коэффициента отражения светового потока от стен P_C , потолка P_P , пола $P_{ПОЛА}$, а также геометрических размеров помещения и высоты подвеса светильников, что учитывается одной комплексной характеристикой – индексом помещения:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.2)$$

где h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м;

A – ширина помещения, м;

B – длина помещения, м.

Рассматриваемое помещение имеет следующие характеристики:

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

48

- ширина A – 5 м;
- длина B – 7 м;
- площадь помещения S – 35 м²;
- высота до осветительного прибора h – 3 м;
- количество ламп N – 8;
- поправочный коэффициент Z – 1.1;
- световой поток одной лампы F – 1340 лм;
- коэффициент запаса k – 0.4.

Тогда индекс помещения по формуле (5.2): Используя этот коэффициент по светотехнической таблице, находим, что для нашего помещения коэффициент η равен 53 %.

Теперь можно произвести расчёт освещённости по формуле (5.1):

$$E = \frac{F \cdot N \cdot \eta}{k \cdot S \cdot z} = \frac{1340 \cdot 8 \cdot 0.53}{35 \cdot 1.1 \cdot 0.4} = 369,$$

Согласно СНиП 23-05-95, освещённость рассматриваемого помещения находится в диапазоне оптимального освещения, т.к. по нормативам для разряда зрительной работы IV (в) норма освещённости находится в диапазоне от 200 лк до 400 лк. Это означает, что мощность и количество осветительных приборов для данного помещения выбраны правильно, и не требуется дополнительного освещения.

5.2.2 Микроклимат

Выбор типа *производственного помещения* определяется технологическим процессом, возможностью борьбы с шумом, вибрациями и загрязнением воздуха. Наличие больших оконных проёмов и фонарей должно обеспечивать хорошую естественную освещённость. В помещении обязательно устройство вентиляции.

Объем и площадь производственного помещения, которые должны проходить на каждого работающего по санитарным нормам, должны быть не менее 20 м³ и 6 м² соответственно. Высота производственных помещений не должна быть менее 4

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						49

м. Стены и потолки необходимо сооружать из малотеплопроводных материалов, не задерживающих осаждение пыли. Полы должны быть тёплыми, эластичными, ровными и нескользкими.

Под оптимальными микроклиматическими условиями понимают такие сочетания параметров микроклимата, которые при детальном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма.

На организм человека и работу вычислительной техники большое влияние оказывает относительная влажность воздуха. При влажности воздуха до 40% становится хрупкой основа магнитной ленты, повышается износ магнитных головок, выходит из строя изоляция проводов, также возникает статическое электричество при движении носителей информации в ЭВМ. При относительной влажности воздуха более 75-80% снижается сопротивление изоляции, изменяются рабочие характеристики ЭВМ, возрастает интенсивность их отказов.

Скорость движения воздуха тоже оказывает влияние на функциональную деятельность человека, так как способствует испарению влаги с кожного покрова. А это, в свою очередь, приводит либо к высыханию кожи, либо к нарушению теплового равновесия организма, т.е. скорость движения воздуха, может иметь положительное значение с точки зрения физического охлаждения лишь до температуры воздуха $35-36^{\circ}\text{C}$. При дальнейшем повышении температуры окружающей среды единственным путём теплопередачи является испарение. Однако при повышении температуры выше 40°C движение даже относительно сухого воздуха может оказываться неблагоприятным фактором. Горячий воздух отдаёт теплоту телу, и подвижность воздуха в этом случае приводит не к охлаждению, а, наоборот, к нагреванию.

В машинном зале рекомендуется поддерживать температуру и влажность воздуха постоянными. Атмосферное давление должно быть в допустимых пределах, так как при пониженном, например, давлении ухудшается отвод тепла от элементов ЭВМ, снижаются изоляционные свойства узлов и устройств ЭВМ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

50

Воздух должен в значительной степени очищаться от пыли. ЭВМ, имеющие в своём составе устройства ввода-вывода на магнитных дисках, требуют этого, так как пылинки, попадающие на рабочую поверхность диска, могут привести к повреждению магнитной головки или поверхности диска. Пыль, оседающая на устройства и узлы ЭВМ, ухудшает теплоотдачу, может образовывать токопроводящие цепи, вызывает износ подвижных частей, нарушает контакты и приводит к засорению лёгких у работающего персонала.

Не менее важно и значение освещения. При неудовлетворительном освещении зрительная способность снижается, и могут появиться заболевания глаз. Правильно выполненная система освещения имеет большое значение в снижении травматизма, уменьшая потенциальную опасность многих производственных факторов; создаёт нормальные условия для работы органов зрения и повышает общую работоспособность организма.

С целью создания нормальных условий работы установлены нормы производственного микроклимата (ГОСТ 12.1.005-88)[19]. Эти нормы устанавливают оптимальные и допустимые значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха для рабочей зоны помещений, оборудованных компьютерами с учётом тяжести выполняемой работы и сезона года.

5.2.3 Электробезопасность

Электрические установки, к которым относится ЭВМ и стенд, представляют для человека потенциальную опасность. В процессе эксплуатации или при проведении профилактических работ человек может соприкасаться с частями, находящимися под током. Согласно классификации помещений по электробезопасности (ПУЭ – 7-е издание) рабочий кабинет относится к помещениям без повышенной опасности, характеризующимся наличием следующих условий:

- 1) напряжение питающей сети, 220 В;
- 2) напряжение питающей сети, 380 В;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

51

Таблица 5.1 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Температура, С						Относительная влажность, процента	Скорость движения воздуха, м\с		
	Оптимальная	Допустимая								
		Верхняя		Нижняя						
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.					
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1		
Тёплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1		

3) относительная влажность воздуха, не более 75%;

4) средняя температура не более 25°C.

При нормальном режиме работы опасность поражения электрическим током невелика, однако, возможны режимы, называемые аварийными, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящихся под напряжением с заземлением конструкциями. Опасность поражения электрическим током существует всюду, где используются электроустановки, поэтому помещения без повышенной опасности нельзя назвать безопасными.

Любое из воздействий тока (термическое, электролитическое, механическое и биологическое) может привести к электрической травме, т. е. к повреждению организма, вызванному действием электрического тока или электрической дуги.

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения током, согласно ГОСТ Р 12.1.009-2009 “Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность” [20]. Общие требования и номенклатура видов защиты”, являются: защитное зануление, выравнивание потенциалов, защитное заземление, электрическое разделение сети, изоляция токоведущих частей, ограждительные устройства и другое.

Согласно “Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов” ЭВМ и стенд, на которых производится работа, относятся к классу электробезопасности 01 (имеет рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей шины для подключения питания).

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки не должны превышать значений, указанных в таблице 5.2

Для исключения возможности поражения электрическим током проведены следующие меры:

- 1) токоведущие части, находящиеся под напряжением, изолированы;
- 2) корпуса приборов заземлены;
- 3) заземляющие проводники видны, а места их соединений скреплены резьбовыми соединениями.

5.2.4 Пожарная безопасность

Для выполнения требований по пожарной безопасности (ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность)[21] необходимо удаление оборудования друг от друга на расстояние не менее 60-80 см.

Опорные части из изоляционных материалов, удерживающие детали, предназначенные для подключения к сети, а также изолирующие корпуса должны быть изготовлены из материалов, не представляющих опасность при возникновении ко-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

53

Таблица 5.2 – Таблица предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t , с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Свыше 1,0
Переменный 50 Гц	U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	U, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	I, мА	650	500	500	330	250	200	170	140	130	200	100	8
Постоянный	U, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	I, мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15
Выпрямленный двух полупериодный	U _М , В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
	I _М , мА	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
Выпрямленный одно полупериодный	U _М , В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—
	I _М , мА	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—

ротких замыканий внутри блока или при нагреве, вызываемого плохим контактом внешних проводов.

Необходимо также наличие пожарного инвентаря и проведение инструктажей.

Приведём возможные причины возникновения пожаров:

- 1) наличие твёрдых горючих веществ;
- 2) опасная перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный разогрев токо-проводящих проводников и загорания изоляции;
- 3) короткие замыкания;
- 4) пуск оборудования после ремонта.

Для предупреждения пожаров от коротких замыканий, перегрузок необходим правильный выбор монтаж и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей, дисплеев и других устройств.

5.2.5 Электромагнитные неионизирующие излучения

Длительное воздействие электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) приводит к расстройствам в головном мозге и центральной нервной системе. В электрическом поле (ЭП) атомы и молекулы поляризуются. Полярные молекулы ориентируются по направлению распространения электромагнитного поля, что изменяет ориентацию клеток или цепей молекул, ослабляя биохимическую активность белковых молекул. В результате у человека наблюдаются головная боль в височной и затылочной областях, вялость, ухудшение памяти, боли в области сердца, угнетённое настроение, апатия, своеобразная депрессия с повышенной чувствительностью к яркому свету и интенсивному звуку, расстройство сна, сердечно-сосудистой системы (ССС), органов пищеварения, дыхания, повышенная раздражительность. Могут наблюдаться функциональные нарушения в ЦНС, а также изменения в составе крови.

Воздействие постоянного магнитного поля (ПМП) и с частотой 50 Гц на чело-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

55

века проявляется в индуцировании в теле человека вихревых токов.

При длительном систематическом воздействии могут возникнуть изменения функционального состояния нервной системы, иммунной системы и сердечно-сосудистой системы. Длительное воздействие ЭМП промышленной частоты может спровоцировать онкологические заболевания.

Предельно допустимые значения напряжённости электрического и магнитного полей промышленной частоты в зависимости от времени их воздействия устанавливаются СанПиН 2.2.4.1191-03 “Электромагнитные поля в производственных условиях”[22]. Согласно этому нормативному документу пребывание в ЭП промышленной частоты напряжённостью до 5 кВ/м допускается в течение всего рабочего дня.

При работе на персональном компьютере расстояние от монитора до глаз пользователя должно быть не менее 50 см. Исследования показали, что с уменьшением расстояния на каждые 10 см уровень электромагнитного излучения возрастает в среднем в 1,5 раза, а с увеличением расстояния с 50 до 60 см уменьшение уровня электромагнитного поля идёт в той же зависимости.

5.2.6 Допустимые уровни звукового давления и звукового шума

Шум на исследовательском рабочем месте создаётся вентиляционной системой ПЭВМ и печатающим устройством. В процессе рабочего дня принтер включается по мере необходимости, поэтому шум следует квалифицировать как непостоянный, прерывистый.

Основными физическими величинами, характеризующими шум, являются интенсивность, звуковое давление и частота. Согласно ГОСТ 12.1.003-83 “Система стандартов безопасности труда. Шум”[23]. Общие требования безопасности” для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в дБ, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, приведены в таблице 5.4.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

56

Таблица 5.3 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	10В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	0,3А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: для взрослых пользователей	20кВ/м
для детей дошкольных учреждений и учащихся средних специальных и высших учебных заведений	15кВ/м

Таблица 5.4 – Значения предельно допустимых уровней шума на рабочих местах производительных предприятий

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавной полосе частот, Гц								Уровни звука, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
(1)	71	61	54	49	45	45	40	38	50
(2)	79	70	63	58	55	55	50	49	60
(3)	83	74	68	63	60	60	55	54	65
(4)	94	87	82	78	75	75	71	70	80
(5)	99	92	86	83	80	78	76	74	85

- (1) – помещение технологических бюро, лаборатории для теоретических работ;
- (2) – помещения управлений, рабочие комнаты;
- (3) – кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой телефонной связью, помещение и участки тонкой сборки;
- (4) – лаборатории для проведения экспериментальных работ;
- (5) – постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий.

Уровень шумов от компьютеров и вентиляторов в помещении соответствует пункту (1) таблицы 7.2.3. Согласно [24] шум, создаваемый вентиляторами и компьютерами, постоянный и не превышает установленного звукового давления.

5.3 Требования эргономики и технической эстетики

Для создания благоприятных условий труда в лаборатории необходимо учитывать психофизические особенности человека, а также общую гигиеническую обстановку. Большое значение в создании оптимальных условий труда имеют складывающиеся в трудовом коллективе взаимоотношения между студентами, которые принято называть социальным климатом. Человек, находящийся в состоянии нервного возбуждения допускает много ошибок при работе с технологической документацией.

С эстетической точки зрения помещение и оборудование должны быть окрашены в спокойные тона (синие, голубые, зелёные) успокаивающие и уменьшающие зрительное утомление. Окраска стен и дверей помещения должна иметь мягкие переходы без резких яркостных контрастов. В рабочем помещении стены покрашены бежевой краской, потолок покрыт белой плиткой, двери окрашены в синий цвет. Это даёт хорошее отражение и рассеяние света.

Важную роль играет планирование рабочего места, которое должно удовлетворять требованиям удобства выполнения работ и экономии энергии, времени ин-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						58

женера, удобства обслуживания устройств ЭВМ и соблюдения правил охраны труда. Рабочее место должно обеспечивать удобство выполнения работы в помещении сидя, стоя и соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78[25] и ГОСТ 12.2.033-78 [24]. Необходим учёт эргономических свойств человека, подбор вспомогательных предметов оборудования (столы, и т. п.), удобных для использования на рабочем месте. Для этого требуется рациональная расстановка оборудования, оптимальная организация рабочего места (правильный выбор основного технологического оборудования, удобство выполнения работ). Рабочее место при выполнении действий в положении сидя должно соответствовать нормам [25]s.

Определим требования к рабочему месту: обеспечение возможности удобного выполнения работ, учёт физической тяжести труда, учёт размеров рабочей зоны, учёт технологических особенностей процесса выполнения работ. Параметры рабочего места инженера приведены в таблице 5.5.

В рабочей зоне необходимо исключение резких и подвижных теней, отблесков. При планировке рабочего места необходимо учитывать зоны досягаемости рук оператора при расположении дисплея, клавиатуры, органов управления системы и периферийных устройств. Эти зоны, установленные на основании антропометрических данных человеческого тела, дают возможность рационально разместить как по горизонтали, так и по вертикали все элементы рабочего места.

Правильная организация рабочего места оператора ЭВМ предусматривает также соблюдение следующих параметров:

- 1) высота мыши с клавиатурой (62-88) см (над уровнем пола);
- 2) высота экрана (над уровнем пола) (90-128) см;
- 3) расстояние от экрана до края стола (0-115) см;
- 4) наклон экрана от минус 15⁰ до плюс 20⁰ к нормальному его положению;
- 5) расстояние от глаз оператора до экрана должно быть в пределах от 40 до 80 см.

В состав рабочего места входят учебный стенд, персональный компьютер, видеомо-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						59

Таблица 5.5 – Параметры рабочего места инженера

Параметры	Рекомендуемые, мм	Фактические, мм
1. Высота сидения	450	440
2. Высота рабочей поверхности	720	700
3. Ширина сидения	500	490
4. Высота спинки сидения	800	740
5. Высота пространства для ног	600	700
6. Размеры рабочей поверхности	1600 x 900	1600 x 1000
7. Высота ПК	620 - 800	740
8. Расстояние от глаз инженера до предмета	600	620
9. Расстояние от экрана или предмета до края стола	750	650

нитор, клавиатура.

Органы управления, к которым относятся клавиатура и манипулятор “мышь” ЭВМ расположены в зоне досягаемости, ограниченной длиной руки, т.е. от 70 до 80 см. Такое расположение обеспечивает равномерную нагрузку обеих рук оператора.

К системам отображения информации, на данном рабочем месте, относятся: видеомонитор ЭВМ. Видеомонитор расположён в зоне пространства отображения информации ($\pm 15^\circ C$ от нормальной линии взгляда), что обеспечивает оптимальный зрительный поиск.

В результате анализа можно сделать вывод, что организация рабочего места, на котором выполнялась дипломная работа, удовлетворяет перечисленным выше требованиям правильной организации рабочего места оператора ЭВМ. Так, как и остальные условия работы в помещении являются удовлетворительными (мик-

роклимат, освещение и т.д.), о чем писалось выше, то согласно ГОСТ 12.2.032-78.ССБТ[25] данное рабочее место работника можно считать соответствующим общим эргономическим требованиям.

5.4 Общие требования безопасности перед началом, вовремя, по окончании работы и в случае аварийных ситуаций

5.4.1 Требования безопасности перед началом работы

Перед началом работы работник должен:

- проверить на рабочем месте наличие и пригодность средств защиты, инструмента и приспособлений, а также наличие электрического фонаря, средств пожаротушения, плакатов или знаков безопасности;
- проверить достаточность освещения рабочей зоны и на обслуживаемом оборудовании (отсутствие перегоревших ламп) наличие плафонов на светильниках;
- ознакомиться с работами производимыми предыдущими работниками, прочитав об этом в “Оперативном журнале”;
- при обнаружении, каких-либо отклонений в работе САР доложить технику.

5.4.2 Требования безопасности во время работы

- использовать инструмент и приспособления, предназначенные только для выполнения данной работы. Не допускать применения случайных приспособлений и предметов вместо инструмента;
- следует выполнять только ту работу, которая поручена;
- импульсные трубопроводы, на которых производится ремонт оборудования КИПиА, необходимо перекрыть при помощи запорной арматуры и снять давление;

Запрещается во время работы:

- эксплуатировать неисправное оборудование, а также оборудование с неисправными или отключёнными устройствами аварийного отключения блокировок,

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

61

защит и сигнализации;

- применять для отмывки и обезжиривания деталей и оборудования керосин, бензин, бензол, ацетон и другие, горючие и легковоспламеняющиеся вещества, при уборке помещений и оборудования горючие вещества, а также хлорпроизводные углеводороды;
- при обнаружении дефектов на оборудовании немедленно сообщить об этом своему руководству и руководству обслуживаемого объекта;
- во время работы необходимо поддерживать чистоту и порядок на рабочем месте;
- во время работы соблюдать противопожарные правила, знать местонахождение первичного противопожарного инвентаря, уметь его применять и не допускать использование противопожарных средств не по назначению;

5.4.3 Действия в аварийных ситуациях

При возникновении аварии или ситуации, которые могут привести к нежелательным последствиям, необходимо прекратить работу, принять меры по предупреждению несчастных случаев, выхода из строя оборудования, сообщить технику или заведующему кафедры, в котором возникла аварийная ситуация, а также принять меры обеспечения безопасности других лиц;

При возникновении аварийных ситуаций необходимо:

- прекратить работу;
- обесточить оборудование, если это угрожает жизни и здоровью персонала;
- принять меры по предупреждению несчастных случаев, выхода из строя оборудования;
- сообщить руководству;
- при возникновении пожара необходимо немедленно вызвать пожарную охрану, отключить электрооборудование, находящееся в зоне пожара. Приступить к тушению пожара с помощью первичных средств пожаротушения. Для тушения по-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

62

жара в электроустановках необходимо применять только углекислотные и порошковые огнетушители.

5.4.4 Требования безопасности по окончании работы

По окончании работы работник должен:

- выключить оборудование;
- привести в порядок рабочее место.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

63

6 Технико-экономическое обоснование

6.1 Обоснование необходимости проводимого исследования

Настоящая дипломная работа исследует алгоритмы поиска смещений по параметрам изображений основываясь на дифференциальном алгоритме Лукаса–Канаде. На основе полученных векторных полей смещений можно строить карты поверхностной деформации твёрдого тела.

Целью дипломной работы является разработка программного обеспечения (ПО) для оценки деформаций поверхностей твёрдых тел, а также проведение исследований алгоритмов и методов как на модельных, так и на реальных оптических изображениях.

6.2 Планирование комплекса работ по разработке программного обеспечения

Основными задачами планирования работ являются:

- определение объёма предстоящих работ;
- распределение объёма работ на взаимосвязанные последовательные этапы;
- установление сроков выполнения работ;
- определение необходимых, для выполнения планируемых работ денежных, материальных и трудовых ресурсов.

При выполнении дипломной работы было задействовано два человека:

- руководитель (рук.);
- разработчик (разр.).

Руководитель выполняет контроль выполнения различных этапов работ, согласованность этапов выполнения работ между собой, корректирует действия разработчика, дает рекомендации по выполнению тех или иных работ. Разработчик реализует тот объем работ, который установлен руководителем в соответствие с техническим заданием.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

64

Месячный оклад студента в ТУСУР равен 10483 рублей, с учётом 20 рабочих дней в месяце, и 8 часового рабочего дня, стоимость одного часа работ равна 65,51 рублей. Месячный оклад руководителя к.т.н., доцента в университете равен 14800 рублей, с учётом 24 рабочих дней, и 6 часового рабочего дня, стоимость одного часа работ равна 102,8 рубля.

График выполнения работ приведён в таблице 6.1.

Зная длительность цикла каждого этапа и возможность их параллельно-последовательного выполнения, можно рассчитать срок завершения планируемых работ и составить ленточный и сетевой графики плана их выполнения. Поскольку работа не требует большого состава исполнителей, то ограничимся ленточным графиком планирования, представленным в виде таблицы 6.2.

6.3 Определение сметной стоимости проекта

6.3.1 Общие положения

Смета затрат для данной работы состоит из расходов, которые включают в себя следующие статьи:

- затраты на оборудование и амортизацию;
- расходы на оплату труда и отчисления на социальные нужды;
- затраты на основные и вспомогательные материалы;
- затраты на электроэнергию.

6.3.2 Затраты на оборудование и амортизацию

Основным оборудованием при проведении работы являются компьютер и принтер, которые постановлением Правительства Российской Федерации от 1.01.02 г. № 1 отнесены ко второй амортизационной группе – “имущество со сроком полезного использования свыше 2 лет до 3 лет включительно”. Месячная норма амортизации составляет 2,8% и для компьютера, и для принтера.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						65

Таблица 6.1 – График выполнения работ

Наименование этапов и содержание работ	Исполнитель (должность)	Трудоемкость		Количество исполнителей, чел.	Стоимость одного часа работ, руб/ч	Общая стоимость работы, руб.	Продолжительность рабочего дня, час.	Срок исполнения, дни
		Нормо-часы, н-ч	Процент от общей трудоемкости, %					
1 Постановка задачи	рук.	2	4%	1	102,8	205,6	6	1
	разр.	10	2%	1	65,51	655,1	8	2
2 Анализ научно-технической литературы	разр.	25	5%	1	65,51	1637,75	8	4
3 Разработка и реализация алгоритма Лукаса-Канаде	разр.	120	26%	1	65,51	7861,2	8	15
4 Разработка итеративного метода и суб-пиксельного смещения	рук.	15	30%	1	102,8	1542	6	3
	разр.	70	15%	1	65,51	4585,7	8	9
5 Разработка иерархического метода	рук.	25	50%	1	102,8	2570	6	5
	разр.	70	15%	1	65,51	4585,7	8	9
6 Проведение эксперимента на искусственных и реальных изображениях	рук.	3	6%	1	102,8	308,4	6	1
	разр.	34	7%	1	65,51	2227,34	8	5
7 Анализ результатов	рук.	10	20%	1	102,8	1028	6	2
	разр.	40	9%	1	65,51	2620,4	8	5
8 Создание основной части пояснительной записи	рук.	10	20%	1	102,8	1028	6	2
	разр.	40	9%	1	65,51	2620,4	8	5
9 Создание документации по охране труда и экономической части	разр.	40	9%	1	65,51	2620,4	8	5
10 Подготовка графического материала	разр.	16	3%	1	65,51	1048,16	8	2
11 Проверка пояснительной записи	рук.	10	20%	1	102,8	1028	6	2
Всего: 11	разр.	50	100	1	65,51	30462,15	6	6
	рук.	465	100	1	102,8	5140	8	59

Таблица 6.2 – Ленточный график загрузки участников работ

Этапы работы	Исполнитель	Длительность, дн.	Продолжительность работ, недели												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	рук.	1													
	разр.	2													
2	разр.	4													
3	разр.	15													
4	рук.	3													
	разр.	9													
5	рук.	5													
	разр.	9													
6	рук.	1													
	разр.	5													
7	рук.	2													
	разр.	5													
8	рук.	2													
	разр.	5													
9	разр.	5													
10	разр.	2													
11	рук.	2													
	разр.	1													

Результаты расчётов амортизационных отчислений приведены в таблице 6.4.

6.3.3 Расходы на оплату труда и отчисления на социальные нужды

Статья затрат учитывает выплаты по заработной плате за выполненную работу, исчисленные на основании тарифных ставок и должностных окладов в соответствии с принятой в организации-разработчике системой оплаты труда. В этой статье также отражаются премии, надбавки и доплаты за условия труда, оплата ежегодных отпусков, выплата районного коэффициента и некоторые другие расходы. Отчисле-

Таблица 6.3 – Календарный график загрузки участников

Этапы работы		Исполнитель	Длительность, дн.	Календарные даты
1 Постановка задачи	рук.	1	2.03.15 - 4.03.15	
	разр.	2		
2 Анализ научно-технической литературы	разр.	4	5.03.15 - 9.03.15	
3 Разработка и реализация алгоритма Лукаса-Канаде	разр.	15	10.03.15 - 25.03.15	
	рук.	3		
4 Разработка итеративного метода и суб-пиксельного смещения	разр.	9	25.03.15 - 5.04.15	
	рук.	5		
5 Разработка иерархического метода	разр.	9	6.04.15 - 17.04.15	
	рук.	1		
6 Проведение эксперимента на искусственных и реальных изображениях	разр.	5	17.04.15 - 24.04.15	
	рук.	2		
7 Анализ результатов	разр.	5	25.04.15 - 1.05.15	
	рук.	2		
8 Создание основной части пояснительной записки	разр.	5	2.05.15 - 13.05.15	
	рук.	2		
9 Создание документации по охране труда и экономической части	разр.	5	13.05.15 - 19.05.15	
	рук.	2		
10 Подготовка графического материала	разр.	2	20.05.15 - 22.05.15	
	рук.	2		
11 Проверка пояснительной записки	разр.	1	25.05.15 - 29.05.15	
	рук.	2		

ния на социальные нужды учитывают страховые взносы.

Результаты расчёта расходов на оплату труда участников проекта представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.4 – Смета затрат на оборудование

Наименование прибора, оборудования	Потребленное количество, шт.	Цена, руб.		Время использования по теме	Месячная норма амортизации, %	Сумма амортизации, руб.
		Единицы	Всего			
Ноутбук	1	23000	23000	3 мес.	2,8	1932
Принтер	1	7000	7000	3 мес.	2,8	588
Итого: 2520 руб.						

Таблица 6.5 – Расчет расходов на оплату труда участников проекта

Участники проекта	ЗП _{пр}	Премия	РН, руб. 30%	ОЗП	ДЗП 15%	ФОТ	Страховые взносы, руб.	Всего
рук.	5140	-	1542	6682	1002,3	7684,3	2305,3	9989,6
разр.	30462,15	-	9138,645	39600,8	5940,1	45540,92	13662,3	59203,2
Итого: 69192,6 руб.								

6.3.4 Затраты на основные и вспомогательные материалы

Статья включает расходы по приобретению и доставке основных и вспомогательных материалов, необходимых для опытно-экспериментальной проработки решения, для изготовления макета или опытного оборудования. Сюда включаются и стоимость необходимых материалов для изготовления образцов и макетов, и материалов необходимых для оформления требуемой документации.

Размер транспортно-заготовительных расходов (ТЗР), определяемый в процентах от стоимости, примем 10%. Стоимость вспомогательных материалов принимается 10% от стоимости основных материалов с учётом ТЗР. Результаты расчёта стоимости материалов представлены в 6.6.

Таблица 6.6 – Расчёт затрат на основные и вспомогательные материалы

Наименование материала	Единицы измерения	Потребленное количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Ватман	шт.	5	50	250
Пачка бумаги	шт.	1	250	250
Картридж для принтера	шт.	1	4450	4450
CD-диск	шт.	1	30	30
Итого затраты на основные (с учетом ТЗР) и вспомогательные материалы: 5478				

6.3.5 Расходы на электроэнергию

Статья включает затраты по электроэнергии на технологические нужды. В настоящее время тариф на электроэнергию для населения г. Томска на 2015 год составляет 2,7 руб./ кВт ч. Введённый приказом от 26.12.2014 " №6/9 (691) "О тарифах на электрическую энергию для населения и потребителей, приравненных к категории населения по Томской области на 2015 год", принятый департаментом тарифного регулирования Томской области.

Результаты расчётов приведены в 6.7.

6.3.6 Накладные расходы

Расчёт накладных расходов сведём в 6.8.

6.3.7 Сводная смета затрат

На основании всех произведённых расчётов составим сводную смету затрат на выполнение работы в виде таблицы 6.9.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						70

Таблица 6.7 – Затраты на электроэнергию

Наименование прибора или оборудования	Количество, шт.	Потребляемая мощность, кВт	Часы работы	Тариф за 1 кВт·час, руб.	Стоимость электроэнергии, руб.
Ноутбук	1	0,0 5	56 0	2, 7	75,6
Принтер	1	0,1	4	2, 7	1,08
Освещение	1	0,6	56 0	2, 7	907,2
Всего: 983,88 руб.					

Таблица 6.8 – Накладные расходы

Услуга	Количество	Стоимость одной единицы, руб.	Сумма затрат, руб.
Изготовление плакатов	5 штук	100	500
Переплет	1 штука	50	50
Транспортные расходы	10 поездок	17	170
Итого: 720			

6.4 Научно-технический эффект

Количественная оценка научно-технического уровня может быть произведена путём расчёта результативности участников разработки по формуле:

$$K_{hy} = \sum_{i=1}^n (K_{\partial y} \cdot d_i),$$

Иэм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист 71

Таблица 6.9 – Сводная смета затрат

Наименование статей затрат	Всего, руб.
1. ФОТ со страховыми взносами	67655,7
2. Основные и вспомогательные материалы	5478
3. Амортизационные отчисления	2520
4. Затраты на электроэнергию	983,88
5. Накладные расходы	720
Итого себестоимость работ: 77357,58руб.	

где K_{hy} – коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{\partial yi}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i – значимость i -го фактора;

n – количество факторов.

Весовые коэффициенты d для каждого из факторов устанавливались экспертыным путём. При этом сумма коэффициентов значимости по всем факторам равна единице. Коэффициенты достигнутого уровня факторов также установлены экспертым путём.

Таблица 6.10 – Оценка научно-технического уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{\partial yi}$	$K_{\partial yi} d_i$
Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,375	0,7	0,2625
Перспективность использования результатов	0,300	0,8	0,24
Завершенность полученных результатов	0,125	1	0,125
Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,200	0,4	0,08
Результативность	$K_{hy} = \sum_{i=1}^4 (K_{\partial yi} \cdot d_i) = 0,7075$		

Рассчитанный коэффициент научно-технической результативности равен

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист 72

0,7075. Полученное значение достаточно высоко, что говорит об эффективности проведённых работ выше среднего, однако отмечается необходимость дальнейшего развития проекта для достижения завершённости полученных результатов.

6.5 Социальный эффект

Гипотетический социальный эффект заключается в улучшении результатов исследований, проводимых в лаборатории механики полимерных композиционных материалов СО РАН, которые могут использовать программное обеспечение оценки деформации твёрдых тел, и усилении научного потенциала.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

73

7 Заключение

В результате выполнения работы было разработано программное обеспечение для оценки деформаций поверхности твёрдого тела. ПО позволяет оценивать оптический поток по серии входных снимков и проводить исследования механизмов пластической деформации на мезоуровне.

При разработке ПО были рассмотрены и реализованы методы вычисления оптического потока на основе алгоритма Лукаса-Канаде, его пирамidalная версия, и итеративная модификация с субпиксельной точностью.

Тестирование ПО показало, что классический алгоритм Лукаса-Канаде локален и не способен определить смещение большее чем область поиска. Пирамидальная версия алгоритма решает эту проблему.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

74

Список использованных источников

- 1 Sutton M. A., Orteu J.-J., Schreier H. Image correlation for shape, motion and deformation measurements: basic concepts, theory and applications. Springer. 2009, 321 p.
- 2 L. Xu, J. Jia, and Y. Matsushita. Motion detail preserving optical flow estimation. // PAMI 34(9):1744-1757, 2012.
- 3 Sun, D., Sudderth, E. and Black, M.J. Layered segmentation and optical flow estimation over time. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, pages 1768-1775, 2012.
- 4 Making good features track better. / Tiziano Tommasini, Andrea Fusiello, Emanuele Trucco, Vito Roberto // CVPR. — IEEE Computer Society, 1998. — P. 178–183. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/cvpr/cvpr1998.htmlTommasiniFTR98>.
- 5 Lucas, BruceD. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision (DARPA) [Электронный ресурс] / BruceD. Lucas, Takeo Kanade // Proceedings of the 1981 DARPA Image Understanding Workshop. — 1981. — P. 121–130.
- 6 Панин С.В., Сырямкин В.И., Любутин П.С. Оценка деформации твердых тел по изображениям поверхности // Автометрия. 2005. Т. 41, №2. С. 44-58.
- 7 Конушин, Антон. Следение за точечными особенностями сцены (point feature tracking) / Антон Конушин // Компьютерная графика и мультимедиа. — 2003. — № 1.
- 8 Графика, Компьютерная. Субпиксельная точность / Компьютерная Графика. URL: <http://algolist.manual.ru/graphics/3dfaqaq/articles/71.php>.
- 9 Bouguet, Jean-Yves. Pyramidal implementation of the lucas kanade feature tracker description of the algorithm [Электронный ресурс]. — 2000. URL: http://robots.stanford.edu/cs223b04/algo_tracking.pdf.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист 75

- 10 Tomasi, C. Good features to track / C. Tomasi, J. Shi // Proc. IEEE Conf. on Comp. Vision and Patt. Recog. — 1994. — P. 593–600.
- 11 Шлее, Макс. Qt 4.5: Профессиональное программирование на C++ / Макс Шлее. — СПб.: БХВ Петербург, 2010. — 896 с.
- 12 Scott Chacon,. Pro Git : professional version control [Электронный ресурс] / Scott Chacon. — 2011. URL: <http://progit.org/ebook/progit.pdf>.
- 13 team”, “Debian Installer. Debian gnu/linux installation guide / “Debian Installer team”. — 2015.
- 14 Group, The HDF. Hdf5 user’s guide [Электронный ресурс] / The HDF Group. — 2011.
- 15 Панин С.В., Титков В.В., Любутин П.С. Инкрементный подход к определению перемещений фрагментов изображений при построении векторных полей. Автометрия, 2014, Т. 50, №2. С. 39-49.
- 16 ГОСТ 12.0.002-80 “Система стандартов безопасности труда. Термины и определения”.
- 17 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ “Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы”.
- 18 Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95“Естественное и искусственное освещение”(утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. N 18-78).
- 19 ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны ”.
- 20 ГОСТ Р 12.1.009-2009 “Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность”.
- 21 ГОСТ 12.1.004-91. “Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.”.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

76

- 22 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191-03 “Электромагнитные поля в производственных условиях”.
- 23 ГОСТ 12.1.003-83 “Система стандартов безопасности труда. Шум”.
- 24 ГОСТ 12.2.033-78. “Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования”.
- 25 ГОСТ 12.2.032-78. “Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

77

Приложение А

(обязательное)

Текст графического модуля

```
import QtQuick 2.4
import QtQuick.Controls 1.3
Item {
    width: 400
    height: 240
    ComboBox {
        id: comboBox1
        x: 150
        y: 0
        model: [ "B-spline", "Bilinear", "Bicubic" ]
    }
    Label {
        id: countInterpolation
        x: 20
        y: 5
        text: qsTr("Interpolation")
    }
    SpinBox {
        id: countIteration
        x: 150
        y: 40
        minimumValue : 1
        maximumValue : 100
        value : 10
    }
    SpinBox {
        id: windowSearch
        x: 150
        y: 80
        minimumValue : 2
        maximumValue : 1000
        value : 16
    }
    SpinBox {
        id: stepGrid
        x: 150
        y: 120
        minimumValue : 1
        maximumValue : 500
        value : 16
    }
    Label {
        id: countIterationLabel
```

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

78

```

x: 20
y: 40
text: qsTr("Count iteration")
}
Label {
    id: labelWindowSearch
    x: 20
    y: 80
    text: qsTr("Size window search")
}
Label {
    id: labelStepGrid
    x: 20
    y: 120
    text: qsTr("Step for grid")
}
TextField {
    id: outDirField
    objectName: "outDirField"
    x: 20
    y: 160
    placeholderText: qsTr("Output directory")
}
Button {
    id: buttonOutDirField
    x: 150
    y: 160
    text: qsTr("Browse")
}
CheckBox {
    id: debugCheckBox
    x: 20
    y: 200
    text: qsTr("More log")
    checked: false
}
CheckBox {
    id: pyramidCheckBox
    x: 150
    y: 200
    text: qsTr("Use pyramid")
    checked: true
}
function getcmd()
{
    return "lucas_kanade";
}
function getarg()
{
    var a =

```

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

```

[
    "-l", outDirField.text + "/list", //load list image
    "-o", outDirField.text, //output directory
    "-i", countIteration.value, //count iteration (1 by default)
    "-w", windowSearch.value, //size window search (3px by default)
    "-g", stepGrid.value, //step for grid (5px by default)
    "-b", comboBox1.currentIndex,
    pyramidCheckBox.checked ? "-p" : "",
    debugCheckBox.checked ? "-d" : "",
    /*"-h", //show help
    "-v" //show version*/
];
return a;
}
function outdir()
{
    return outDirField.text;
}
}

```

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

80

Приложение Б
(обязательное)

Документация программного обеспечения

Lucas Kanade

1.4

Создано системой Doxygen 1.8.9.1

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

81

Содержание

1 Lucas-Kanade

Целью настоящей работы является разработка программного обеспечения (ПО) для оценки деформаций поверхностей твёрдых тел, а также проведение исследований алгоритмов и методов как на модельных, так и на реальных оптических изображениях.

В работе исследовано влияние метода интерполяции изображений с субпиксельной точностью с использованием итеративного подхода на расчёт оптического потока(векторного поля).

Проект выполнен с использованием следующих средств разработки: языка программирования C++(Qt), среды разработки QtCreator 3, Sublime 3. Система контроля версий git.

Версия

1.4

Установка

Для начала, необходимо настроить окружение: ## Qt

```
1 $ sudo apt-get install qt-sdk libarchive-dev libqt5webkit5-dev
```

CMAKE

```
1 $ sudo apt-get install cmake
```

HDF5 Software

```
1 $ wget http://www.hdfgroup.org/ftp/HDF5/current/src/hdf5-1.8.14.tar
2 $ tar -xvf hdf5-1.8.14.tar
3 $ cd hdf5-1.8.14
4 $ cmake CMakeLists.txt
5 $ make
6 $ sudo make install
```

DV(Deformation analys)

```
1 $ cp /media/flash_card/dv.zip
2 $ unzip dv.zip
3 $ cd dv/df-cl
4 $ cmake CMakeLists.txt
5 $ make
```

Lucas-Kanade

```
1 $ git clone git@github.com:IgorPolyakov/graduate-work.git
2 $ cd graduate-work
3 $ cmake CMakeLists.txt
4 $ make
```

Запуск

```
1 $ ./bin/lukas_kanade_qt -l <list_of_image>
```

Документация по Lucas Kanade. Последние изменения: Сб 13 Июн 2015 15:48:58. Создано системой Doxygen

Иэм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

82

Опции

- l — load list image
- o — output directory
- i — count iteration (1 by default)
- w — size window search (3px by default)
- g — step for grid (5px by default)
- v — show version
- h — show help
- d — debug mod on

Список дел

- Добавить юнит-тесты

Лицензия

GNU GPL

2 Алфавитный указатель структур данных

2.1 Структуры данных

Структуры данных с их кратким описанием.

imageInform

The **imageInform** struct Хранение информации о размерах изображения

??

subSize

The **SubSize** struct Данный файл содержит в себе определения основных структур, используемых в программе

??

3 Список файлов

3.1 Файлы

Полный список документированных файлов.

src/global.h

Заголовочный файл с описанием глобальных переменных

??

src/lk_func.h

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения основных функций, используемых в программе

??

src/lk_interpolation.h

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения функций отвечающих за интерполирование данных

??

Иэм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

[src/lk_math.h](#)

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения функций отвечающих за подсчет статистических показателей

??

[src/lk_struct.h](#)

Заголовочный файл с описанием используемых структур

??

[src/version.h](#)

??

4 Структуры данных

4.1 Структура imageInform

The [imageInform](#) struct Хранение информации о размерах изображения

#include <lk_struct.h>

Поля данных

- int [height](#)

Размер изображения по высоте

- int [width](#)

Размер изображения по ширине

4.1.1 Подробное описание

The [imageInform](#) struct Хранение информации о размерах изображения

Объявления и описания членов структуры находятся в файле:

- [src/lk_struct.h](#)

4.2 Структура subSize

The SubSize struct Данный файл содержит в себе определения основных структур, используемых в программе

#include <lk_struct.h>

Поля данных

- int [x_1](#)

x_1 Координата пикселя по x для левого изображения

- int [y_1](#)

y_1 Координата пикселя по y для левого изображения

- int [rc](#)

rc Радиус окна, т.е. если radiusCode = 2, то сетка 5x5

- int [step](#)

step - Шаг между векторами

- int [x_2](#)

x_2 Координата пикселя по x для правого изображения

- int [y_2](#)

y_2 Координата пикселя по y для правого изображения

Иэм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

4.2.1 Подробное описание

The SubSize struct
Данный файл содержит в себе определения основных структур, используемых в программе

Объявления и описания членов структуры находятся в файле:

- src/lk_struct.h

5 Файлы

5.1 Файл src/global.h

Заголовочный файл с описанием глобальных переменных

```
#include <QString>
```

Переменные

- bool g_isDebug
g_isDebug Включить режим вывода в консоль отладочной информации
- int g_sizeWindowSeach
g_sizeWindowSeach Размер окна поиска
- int g_stepForGrid
g_stepForGrid Размер шага сетки (через какое расстояние повторяются точки поиска)
- int g_iteration
g_iteration Число итераций (уточнений)
- int g_interpolation
g_interpolation Выбор метода интерполяции (0 - Б-сплайн, 1 - Билинейный, 3 - Бикубический)
- QString g_outputFolder
g_outputFolder Директория для сохранения результатов работы
- double g_fastProgBar
g_fastProgBar Переменная для отображения текущего прогресса исполнения программы
- double g_slowProgBar
g_slowProgBar Переменная для отображения общего прогресса исполнения программы

5.1.1 Подробное описание

Заголовочный файл с описанием глобальных переменных

Данный файл содержит в себе определения глобальных переменных, используемых в программе

5.2 Файл src/lk_func.h

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения основных функций, используемых в программе

Иэм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ	Лист
						85

```
#include "dv.h"
#include "global.h"
#include "lk_interpolation.h"
#include "lk_struct.h"
#include "lk_math.h"
#include <deprecated/dvfile.h>
#include <iostream>
#include <math.h>
#include <QDebug>
#include <QFile>
#include <vector>
#include "hdf5io.h"
```

Функции

- Data2Db * **resizeImage** (Data2Db *image, int kK, QString prefix)

resizeImage Функция масштабирования изображения, для построения пирамиды уменьшенных изображений
- double * **multiplicMtrxAAndVectr** (double **array, int *vector)

multiplicMtrxAAndVectr Произведение матрицы на вектор
- int **calcLvlPyramid** (int cx, int cy, bool isPyramid)

calcLvlPyramid Автоматическое вычисление количества уровней пирамиды на основе размеров изображения
- std::vector< Data2Db * > * **createPyramid_v2** (Data2Db *img, int lvl_pyramid, QString pref)

createPyramid_v2 Выделение памяти для пирамиды изображений
- Vec2d **computeOptFlow** (subSize *kernel, Data2Db *leftImg, Data2Db *rightImg, Vec2d &dv, double *d_mid_x, double *d_mid_y, double *d_max_x, double *d_min_x, double *d_min_y, double *d_max_y, double *d_avg_x, double *d_avg_y)

computeOptFlow Вычисление вектора оптического потока
- VF2d * **computeGrid** (Data2Db *leftImg, Data2Db *rightImg, VF2d *prev, QString info)

computeGrid Строит сетку с ранее заданным шагом, в точках пересечения ищется вектор оптического потока.
- void **inversion** (Matx22d &A)

inversion Нахождения обратной матрицы(2 x 2).
- void **printProgressBar** (double fastProgBar, double slowProgBar)

printProgressBar Функция ответственная за отрисовку прогресс бара при использовании графического интерфейса
- void **saveVfResult** (VF2d &vf, QString info)

saveVfResult Сохранение векторного поля в формате VF. Просмотр возможен в программе dfcl
- void **derivativeVectorField** (VF2d &vf, QString info)

derivativeVectorField Вычисление поля деформации
- void **writeHdf5File** (QString path, ProtoData2D &layer, bool writeMode)

writeHdf5File Сохранение всех результатов в формат HD5F

5.2.1 Подробное описание

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения основных функций, используемых в программе

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

5.2.2 Функции

5.2.2.1 int calcLvlPyramid (int cx, int cy, bool isPyramid)

calcLvlPyramid Автоматическое вычисление количества уровней пирамиды на основе размеров изображения

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Аргументы

in	сx	Ширина изображения
in	сy	Высота изображения
in	isPyramid	Вычислять ли уровень пирамиды

Возвращает

[out] Количество уровней пирамиды

5.2.2.2 VF2d* computeGrid (Data2Db * leftImg, Data2Db * rightImg, VF2d * prev, QString info)

computeGrid Строит сетку с ранее заданным шагом, в точках пересечения ищется вектор оптического потока.

Аргументы

in	leftImg	указатель на массив яркостей первого кадра
in	rightImg	указатель на массив яркостей второго кадра
in	prev	указатель на векторное поле содержащий предыдущий уровень пирамиды
in	info	имя слоя содержащего векторное поле смещений

Возвращает

[out] двумерный массив содержащий векторное поле, в формате VF

5.2.2.3 Vec2d computeOptFlow (subSize * kernel, Data2Db * leftImg, Data2Db * rightImg, Vec2d & dv, double * d_mid_x, double * d_mid_y, double * d_max_x, double * d_min_x, double * d_min_y, double * d_max_y, double * d_avg_x, double * d_avg_y)

computeOptFlow Вычисление вектора оптического потока

Аргументы

in	kernel	структура содержащая сведения о местонахождении пикселя, размерах окна поиска и прочего
in	leftImg	массив яркостей первого кадра
in	rightImg	массив яркостей второго кадра
in	dv	векторное поле предыдущего поля

Возвращает

[out] vf вектор оптического потока

B-spline interpolation or Bilinear interpolation

5.2.2.4 std::vector<Data2Db*>* createPyramid_v2 (Data2Db * img, int lvl_pyramid, QString pref)

createPyramid_v2 Выделение памяти для пирамиды изображений

Аргументы

in	img	Указатель на оригинальное изображение
in	lvl_pyramid	Уровень пирамиды

in	pref	Предфикс имени для создаваемого слоя
----	------	--------------------------------------

Возвращает

[out] Список изображений

5.2.2.5 void derivativeVectorField (VF2d & vf, QString info)

derivativeVectorField Вычисление поля деформации

Аргументы

vf	Векторное поле
info	Имя сохраняемого файла

0.81649658092 - Это $\sqrt{2}/3$

5.2.2.6 void inversion (Matx22d & A)

inversion Нахождения обратной матрицы(2 x 2).

Аргументы

in	A	Ссылка на массив
----	---	------------------

5.2.2.7 double* multiplicMtrxAAndVectr (double ** array, int * vector)

multiplicMtrxAAndVectr Произведение матрицы на вектор

Аргументы

in	**array	указатель на массив
in	*vector	указатель на вектор

Возвращает

[out] tmp результат произведения

5.2.2.8 void printProgressBar (double fastProgBar, double slowProgBar)

printProgressBar Функция ответственная за отрисовку прогресс бара при использовании графического интерфейса

Аргументы

fastProgBar	Промежуточный уровень
slowProgBar	Полный уровень

5.2.2.9 Data2Db* resizeImage (Data2Db * image, int kK, QString prefix)

resizeImage Функция масштабирования изображения, для построения пирамиды уменьшенных изображений

Аргументы

in	image	Структура содержащая сведения о размерах масштабируемого изображения
----	-------	--

in	kK	Коэффициент уменьшения изображения
in	prefix	Префикс имени для создаваемого слоя

Возвращает

[out] указатель на массив масштабированных изображений

5.2.2.10 void saveVfResult (VF2d & vf, QString info)

saveVfResult Сохранение векторного поля в формате VF. Просмотр возможен в программе dfcl

Аргументы

in	vf	Указатель на векторное поле
in	info	Имя сохраняемого файла

5.2.2.11 void writeHdf5File (QString filename, ProtoData2D & layer, bool writeMode)

writeHdf5File Сохранение всех результатов в формат HD5F

Аргументы

filename	Имя сохраняемого файла
layer	Указатель на слой
writeMode	Режим записи для данного слоя

5.3 Файл src/lk_interpolation.h

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения функций отвечающих за интерполяцию данных.

#include <deprecated/dvfile.h>

Функции

- double **bilinearInterpolation** (double delx, double dely, uchar q11, uchar q12, uchar q21, uchar q22, int x1, int y1)

bilinearInterpolation Билинейная интерполяция — в вычислительной математике расширение линейной интерполяции для функций двух переменных.
- double **cubicInterpolate** (double p[4], double x)

cubicInterpolate Кубическая интерполяция
- double **bicubicInterpolate** (double p[4][4], double x, double y)

bicubicInterpolate Бикубическая интерполяция

5.3.1 Подробное описание

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения функций отвечающих за интерполяцию данных.

5.3.2 Функции

5.3.2.1 double bicubicInterpolate (double p[4][4], double x, double y)

bicubicInterpolate Бикубическая интерполяция

Иэм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Аргументы

in	r	Массив значений
in	x	Массив смещений по оси x
in	y	Массив смещений по оси y

Возвращает

[out] Интерполированное значение

5.3.2.2 double bilinearInterpolation (double delx, double dely, uchar q11, uchar q12, uchar q21, uchar q22, int x1, int y1)

bilinearInterpolation Билинейная интерполяция — в вычислительной математике расширение линейной интерполяции для функций двух переменных.

Аргументы

in	delx	Смещение по x
in	dely	Смещение по y
in	q11	Значение функции в левом верхнем углу
in	q12	Значение функции в левом нижнем углу
in	q21	Значение функции в правом верхнем углу
in	q22	Значение функции в правом нижнем углу
in	x1	Координата верхнего левого угла по x
in	y1	Координата верхнего левого угла по y

Возвращает

[out] Интерполированное значение

5.3.2.3 double cubicInterpolate (double p[4], double x)

cubicInterpolate Кубическая интерполяция

Аргументы

in	p	Массив значений
in	x	Массив смещений

Возвращает

[out] Интерполированное значение

5.4 Файл src/lk_math.h

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения функций отвечающих за подсчет статистических показателей.

```
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <QDebug>
#include "dv.h"
```

Функции

- double expectation (double &var, int size)

- double variance (double &var, int size)
- double std_deviation (double &var, int size)
- void show (double *var, int size)

show Функция счета статистических показателей

5.4.1 Подробное описание

Заголовочный файл с описанием функций. Данный файл содержит в себе определения функций отвечающих за подсчет статистических показателей.

5.4.2 Функции

5.4.2.1 void show (double * var, int size)

show Функция счета статистических показателей

Аргументы

in	var	Ссылка на массив данных.
in	size	Длина массива.

5.5 Файл src/lk_struct.h

Заголовочный файл с описанием используемых структур

Структуры данных

- struct subSize
The SubSize struct Данный файл содержит в себе определения основных структур, используемых в программе
- struct imageInform
The imageInform struct Хранение информации о размерах изображения

5.5.1 Подробное описание

Заголовочный файл с описанием используемых структур

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЭСАУ.ДР.503390.001.ПЗ

Лист

93