Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Институт электроники и телекоммуникаций

Высшая школа прикладной физики и космических технологий

|  |  |
| --- | --- |
|  | Работа допущена к защите  И.о. директора ВШПФиКТ |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.Л. Гельгор | |
| «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2022 г. |

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**БАКАЛАВРА**

**ТЕМА РАБОТЫ ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ**

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗА СЧЁТ ФИЛЬТРАЦИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОГО ШУМА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

по направлению подготовки код и наименование направления подготовки

Направленность (профиль) код и наименование направленности (профиля) образовательной программы

Выполнил студент группы 4931101/90102 В.В. Баташев

Руководитель ассистент ВШПФиКТ, к.т.н. В.А. Павлов

Консультант должность, уч. степень, уч. звание И.О. Фамилия

Санкт-Петербург

2023

**КОПИЯ ЗАДАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**РЕФЕРАТ**

Отчет 15 с., 1 рис., 1 табл., 16 источн., 1 прил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, РАДИОЛОКАЦИОННОЕ СИНТЕНЗИРОВАНИЕ АПЕРТУРЫ, МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫЙ ШУМ, ФИЛЬТРАЦИЯ СПЕКЛ-ШУМА, ПАРАМЕТРЫ ФИЛЬТРОВ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, ОПТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ

Объект исследования – радиолокационные изображения

Цель работы – разработка и применение алгоритмов фильтрации мультипликативного спекл-шума на основе методов глубокого обучения для повышения качества радиолокационных изображений

Для фильтрации мультипликативного спекл-шума на радиолокационных изображениях спроектированы искусственные нейронные сетей с различными архитектурами. Результаты работы разработанных моделей оценивался при помощи специальных метрик качества на специально разработанном датасете. Таже проведено сравнение нейросетевого подхода с классическими.

Результатом является обученная модель нейронной сети, которая позволяет эффективно удалять мультипликативный шум с радиолокационных изображений, тем самым повышая их качество.

**ABSTRACT**

108 pages, 20 pictures, 3 tables, 7 appendixes

KEYWORDS: …

The subject of the graduate qualification work is “…”.

The given work is devoted to…

**СОДЕРЖАНИЕ**

**Оглавление**

[ВВЕДЕНИЕ 7](#_Toc132112075)

[**1** **Радиолокатор с синтезированной апертурой и фильтрация мультипликативного спекл-шума** 9](#_Toc132112076)

[1.1 Принцип действия радиолокатора с синтезированной апертурой 9](#_Toc132112077)

[1.2 Особенности РСА 10](#_Toc132112078)

[1.3 Спекл-шум на РЛИ 12](#_Toc132112079)

[1.4 Фильтрация спекл-шума 13](#_Toc132112080)

[1.5 Выводы 16](#_Toc132112081)

[**2** **Создание алгоритма на базе ИНС для фильтрации спекл-шума** 17](#_Toc132112082)

[2.1 Генерация изображений для обучения 17](#_Toc132112083)

[2.2 Создание набора данных 18](#_Toc132112084)

[2.3 Описание архитектуры 20](#_Toc132112085)

[2.4 Обучение модели 21](#_Toc132112086)

[2.5 Фильтрация изображения 22](#_Toc132112087)

[2.6 Метрики оценки качества 22](#_Toc132112088)

[2.7 25](#_Toc132112089)

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

Применяются следующие определения, обозначения и сокращения.

ДЗЗ – дистанционное зондирование земли

ИНС – искусственная нейронная сеть

ЛА – летательный аппарат

РЛИ – радиолокационное изображение

РСА – радиолокационное синтезирование апертуры

GMSD – Gradient Magnitude Similarity Deviation (отклонение правдоподобия градиента)

PSNR – peak signal-to-noise ratio (пиковое отношение сигнал/шум)

SSIM –structural similarity index (индекс структурного сходства)

## ВВЕДЕНИЕ

Введение должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы и исходные данные для разработки темы. Должны быть отражены актуальность и новизна темы, указаны цель и задачи исследований. Рекомендуемый объем введения не более трех страниц.

Радиолокационные изображения (РЛИ) — это способ получения изображения объектов с помощью радара, который отправляет электромагнитные волны и принимает их отражённые от объекта копии. Как правило, необходимая аппаратура устанавливается на спутник, проводящий дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)

РЛИ могут быть получены применением различных технологий, включая многочастотную мультистатическую радиоголограмму, обратные рассеяния, радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) и другие. Данные, которые удаётся собрать при помощи перечисленных методов, несут в себе информацию о форме изучаемой поверхности, расстоянию до неё и материале. Это позволяет, используя цифровую обработку сигналов, получать двумерное изображение или трёхмерную модель.

Однако из-за принципа формирование РЛИ на итоговом изображении неизбежно возникает спекл-шум. Спекл-шум — это особый вид шума, который характеризуется присутствием случайных колебаний яркости на радиолокационных изображениях. Он имеет характерную зернистость, напоминающую мелкие блески на изображении. Спекл-шум возникает из-за интерференции отраженных сигналов, которые подвергаются изменению формы и фазы в зависимости от геометрических и физических свойств, условий передачи и приема и преодолеваемых поверхностей. Когда множество отраженных сигналов сливаются в одно радиолокационное изображение, взаимодействие между ними может создать эффект спекла.

Спекл-шум на радиолокационных изображениях оказывает влияние на их качество и точность, что делает его наличие негативным эффектом для анализа автоматическими системами и интерпретации изображений. Спекл-шум может создавать ложные контуры и детали на изображениях, которых не существуют в реальности, приводить к снижению контрастности, затруднять различение объектов на фоне окружающей среды, ухудшать точность измерений параметров объектов и становиться причиной множества других связанных проблем.

Из-за вышеперечисленных причин очень важна предобработка радиолокационных изображений, направленная на удаление спекл-шума. На данный момент можно выделить несколько типов подходов к решению данной задачи.

1. Классические методы, которые извлекают статистическую информацию из изображения, на основании чего происходит фильтрация
2. Использование различных преобразований для извлечения информации иного рода из изображений. Например, использование вейвлет-преобразования.
3. Подходы, связанные с применением методов глубокого обучения на основе искусственных нейронных сетей (ИНН), которые в процессе обучения автоматически выявляют наиболее значимые признаки для формирования изображения без шума.

Целью данной работы является проектирование и разработка оптимального подхода для фильтрации мультипликативного спекл-шума на основе применения искусственных нейронных сетей.

Задачи для достижения поставленной цели следующие:

1. Разработка архитектур нейронных сетей.
2. Обучение нейронных сетей на наборе данных.
3. Оценка качества полученного фильтра при помощи метрик.
4. Сравнение различных подходов.

# **Радиолокатор с синтезированной апертурой и фильтрация мультипликативного спекл-шума**

## Принцип действия радиолокатора с синтезированной апертурой

Радиолокационное синтезирование апертуры – один из способов дистанционного зондирования поверхностей, основанный на отправлении и принятии отражённых сигналов. РСА имеет множество практических применений в области изучения поверхности планет, например: оценка последствий природных катастроф, слежение за вулканической активностью, изучение влияния тех или иных действий на изменение климата, таяние ледников, наблюдение за местоположением объектов и их поиск.

Чаще всего аппаратура, выполняющая функции РСА устанавливается на боковую часть движущихся по орбите Земли спутников для обеспечения достаточно большого угла обзора. В процессе зондирования устройство отправляет когерентные, поляризованные определённым способом сигналы, после чего принимает их отражённые от изучаемой поверхности копии и сохраняет полученные данные. Из-за достаточно большого расстояния до изучаемой области изображение, которое формируется в процессе цифровой обработки, имеет низкое пространственное разрешение, вследствие чего даже достаточно большие объекты могут стать неразличимы. Реальное увеличение антенны, которая позволит улучшить качество изображений, влечёт за собой повышение стоимости конструкции и понижение её надёжности, поэтому для повышения качества формируемых изображений используется метод синтезированной апертуры. Зондирование одной и той же поверхности происходит в разные моменты времени из разных точек пространства(Рис 1), тем самым искусственно увеличивая размеры виртуальной антенны, получая намного больше информации о характере исследуемой области, что позволяет увеличить пространственное разрешение во много раз.

Изображение выглядит как стрела

Автоматически созданное описание

- различные моменты времени зондировании.

Рисунок 1.1 – Схема зондирования поверхности РСА

## Особенности РСА

Радиолокационныеизображения в отличии от оптических имеют ряд преимуществ. Например: независимость от времени суток. Так как для зондирования используются только отправляемые сигналы и их отражённые копии, отсутствует необходимость в наличии освещения исследуемой поверхности.

Также радиолокационные изображения обладают невосприимчивостью к погодным условиям. Сигналы, отправляемые передатчиком, способны проникать сквозь облака, туман, снегопад, дождь и прочие метеорологические помехи, тем самым достигая поверхности Земли и беспрепятственно возвращаться. Данный эффект работает и на уровне изучения поверхности: открывается возможность исследовать области, которые невозможно увидеть со спутника при помощи оптических изображений. Например, почву в лесу, где кроны деревьев перекрывают обзор.

Подобные возможности открываются благодаря выбору конкретны полосы частот, сигналы на которых способны проникать сквозь некоторые объекты. В таблице 1 приведены значения частот и то, как каким классом они относятся. От конкретного класса зависит то, через какие поверхности смогут проникать сигналы.

Таблица 1.1 Соответствие полос частот их обозначениям для РСА

|  |  |
| --- | --- |
| Название полосы частот | Значения частот, ГГц |
| Ka | 40,0 - 26,5 |
| K | 26,5 - 18,0 |
| Ku | 18,0 - 12,5 |
| X | 12,5 - 8,0 |
| C | 8,0 - 4,0 |
| S | 4,0 - 2,0 |
| L | 2,0 - 1,0 |
| P | 1,0 - 0,3 |

Важным параметром РЛИ является «пространственное разрешение», характеризующее минимальные геометрические размеры, которыми должен обладать объект на поверхности, чтобы его можно было различить на полученном РЛИ. Для технологии РСА это один из показателей эффективности всей системы. Следовательно, необходимо для успешного решения задач стараться максимизировать данный показатель. Есть несколько способов это сделать. Можно выделить три основные подхода повышения пространственного разрешения изображения, но они влекут за собой уменьшение площади изучаемой поверхности: ScanSAR, Stripmap и Spotlight. За одинаковое количество итераций зондирования наилучшее качество изображения покажет метод Spotlight, после него Stripmap и далее ScanSAR. В обратном порядке повышается исследуемая площадь. На рисунках (2, 3, 4) схематично изображены процессы исследования поверхности для рассматриваемых трёх подходов.

|  |  |
| --- | --- |
| Изображение выглядит как стрела  Автоматически созданное описание  а) | б) |

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

*в)*

Рисунок 1.2 – Зондирование поверхности тремя способами: а) Spotlight; б) StripMap; в) ScanSAR.

## Спекл-шум на РЛИ

Спекл-шум представляет собой мультипликативный паттерн случайных ярких и темных точек на изображении, которые могут искажать искомый объект и делать его неразличимым.

В отличие от оптических изображений, где световые волны не меняются при отражении от неоднородных объектов, радиолокационные волны, излучаемые когерентными источниками, могут испытывать случайные изменения фазы и амплитуды при отражении от объектов в окружающей среде. В результате пересечения этих волн их интерференция приводит к возникновению спекл-шума на изображении.

Для некоторых типов задач анализ распределения спекл-шума и его изменение во времени позволяет делать сложные выводы о структуре объекта, таким образом, даже данный тип помех способен нести в себе полезную информацию, например для изучения двойных звёзд, их массы и расстояния до них. Но в случае зондирования поверхности земли, спекл-шум затрудняет визуальное анализирование радиолокационных изображений и понижает качество автоматической обработки, например сегментацию объектов, классификацию, детектирование и другие. Поэтому, чтобы получить более точную информацию об исследуемой поверхности, необходимо проводить предобработку данных: фильтрацию спекл-шума.

## Фильтрация спекл-шума

На сегодняшний день существуют десятки различных фильтров радиолокационных изображений., которые можно условно разделить на несколько категорий.

Первые подходы к фильтрации радиолокационных изображений были представлены ещё с момента появления самих радиолокационных изображений. Изначально разработанные методы опирались на использование локальных статистических данных(spatial domain) в исследуемой квадратной области для извлечения и удаления спекл-шума. Наиболее известными и эффективными оказались Lee filter [1], Frost filter [2], Kuan filter [3]

Другой подход к фильтрации радиолокационных изображений заключается в применении вейвлет-преобразований[4, 5, 6] (wavelet-domain methods). Если стандартное представление сигнала во временной области не даёт информации о частотной составляющей, а использование Фурье-преобразования, наоборот, сохраняет только информацию о частоте сигнала, не оставляя информации о времени, то вейвлет-преобразование является обобщением спектрального анализа и заключается в извлечении частотных признаков из сигналов, но при этом с сохранением временных параметров. Способы фильтрации радиолокационных изображений, основанные на использовании вейвлет-преобразовании показывают более хорошие результаты, чем подходы, связанные с использованием локальных статистических данных в одной области (без частотной). Применение вейвлет-преобразований для обработки изображений стало широко распространенным в обработке сигналов и изображений, включая такие области, как компьютерное зрение, медицинская диагностика, видеообработка и другие.

Отдельной группой являются подходы, использующие для фильтрации и генерации нового denoised пикселя информацию обо всём изображении – non-local methods [7, 8]. Один из первых таких фильтров: Non-local means filter [9], в основе которого лежит вычисление евклидового или другого расстояния от каждого пикселя до каждого и введения весовых коэффициентов, которые зависят от полученного значения расстояния. Таким образом, наиболее отдалённые пиксели будут оказывать меньший вклад, чем находящиеся рядом.

С ростом производительности и возможностью параллельных вычислений начали активно развиваться подходы к обработке изображений, использующие глубокие нейронные сети (DNN). Сложность применения DNN для фильтрации радиолокационных изображений состоит в том, что для создания модели, способной удалить шум с изображения, необходимо эту модель обучить: подавать на вход зашумлённые изображения, и изображения без шума. Так как на радиолокационных изображениях всегда присутствует спекл-шум, то не существует исходных примеров без шума. Это ограничение можно обойти, искусственно накладывая спекл-шум на чистые оптические изображения.

Как показала практика, применение архитектуры на основе свёрточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN) в задачах обработки изображений даёт хорошие результаты за счёт использования информации о пространственной структуре. Во время обучения нейронная сеть настраивается на извлечение признаков из SAR-изображений и на удаление шума, чтобы получить нешумную версию изображения. В статье [10] описывается механизм избавления от аддитивного белого Гауссовского шума с фиксированным уровнем, основанный на вычитании извлечённого при помощи CNN шума из изображения. Данный подход был развит и в [11] авторы статьи обобщили его на любой уровень шума. Конкретно задача удаления спекл-шума хорошо решается при помощи архитектуры нейронной сети, основанной на свёрточных слоях и остаточных соединениях[12].

Архитектура на основе автоэнкодера позволяет обучить нейронную сеть сжимать исходное изображение до более компактного представления с меньшей размерностью и оставлять наиболее значимые компоненты, , после чего расширить полученное представление обратно в изображение исходного размера, но без шума. На основе данной идеи авторы статьи[13] предложили одновременное использование нейронной сети на базе свёрточной архитектуры для увеличения receptive field с применением механизма автокодировщика для извлечения важных признаков.

Более сложным является применение архитектуры на основе GAN, идея которой базируется на двух нейронных сетях: Генератор получает на вход зашумлённое изображение и старается его отфильтровать. Дискриминатор получает на вход либо изображение с выхода Генератора, либо изображение без шума, после чего определяет, является ли это изображение изначально без шума, или получено после фильтрования генератором. Таким образом две нейронные сети состязаются и обучаются вместе. Главная проблема заключается в сложности выбора функции потерь для обучения и длительности процесса. На основе такого подхода разработана система [14], задача которой заключается в повышении разрешения радиолокационных изображений.

Отдельно можно выделить обучение нейронной сети на основе Трансформеров. Впервые такой тип архитектуры был представлен в 2017 году, её отличительной особенностью стало появление механизма внимания [15] для извлечения зависимостей в последовательностях. Это позволило проектировать модели, способные справляться с решением задач обработки естественного языка и распознавания звука[16] намного лучше альтернативных методов, в частности, рекуррентных нейронных сетей. Адаптацией данного метода для обработки изображений стал проект Visual Transformers (ViT) [17]. Использование механизмов внимания в комбинации с другими методами применяется во различных областях. На основе данного подхода были решены многие задачи, в частности и фильтрация радиолокационных изображений. Например, применение вейвлет-преобразования и глубокой нейронной сети на базе Трансформеров [18]. Ключевая идея заключается в извлечении высокочастотной и низкочастотной информации с последующим нахождением зависимостей между ними при помощи механизма внимания.

## Выводы

Исследования в области проектирования продолжаются и до сих пор, что говорит об актуальности проблемы и необходимости поиска более оптимальных и менее вычислительно сложных решений, которые можно будет выполнять в режиме реального времени на спутниках, проводящих зондирование земли при помощи РСА.

В данной работе целью является проектирование алгоритмом фильтрации мультипликативного спекл-шума с применением искусственных нейронных сетей, направленные на повышение качества радиолокационных изображений.

Дальнейшие задачи, которые необходимы для достижения поставленной цели:

1. Проектирование различных методов фильтрации РЛИ с использованием методов глубокого обучения
2. Выбор оценки метрики качества после процесса фильтрации
3. Обучение спроектированных архитектур нейронный сетей на заготовленном наборе данных
4. Оценка результата по сравнению с классическими подходами.

# **Создание алгоритма на базе ИНС для фильтрации спекл-шума**

## Генерация изображений для обучения

В качестве данных для обучения нейронной сети необходимо иметь набор из двух пар: изображение, которое нужно отфильтровать и изображение без шума. Но из-за того, что любые РЛИ обладают спекл-шумом, возникает необходимость синтезировать данные для обучения. Процесс генерации новых данных заключается в наложении на обычные оптические изображения поверхности Земли распределения Рэлея с параметром масштаба 0.27[статья], которое описывает спекл-шум на РЛИ. На рисунке 2.1 приведена плотность вероятностей используемого распределения шума.

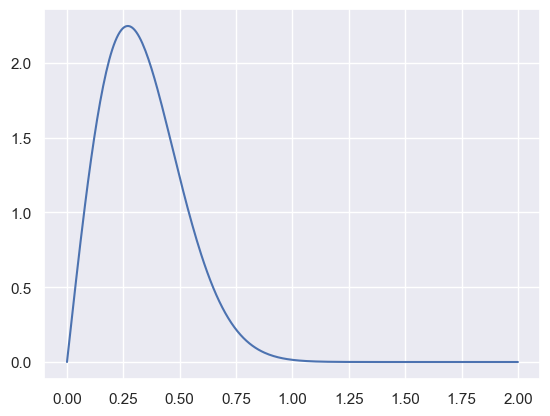


Рисунок 2.1. Плотность вероятности распределения Рэлея с параметром масштаба 0.27.

Добавление шума на изображение происходит в соответствии с формулой (2.1)

где – исходное изображение,

– шум,

– итоговое зашумлённое изображение.

На следующем рисунке показано оптическое изображение без шума и его версия с наложением описанного распределением шума.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  | б) |
| Рисунок 2.2 – а) оригинальное оптическое изображение; б) Оптическое изображение с наложенным спекл-шумом. | |

## Создание набора данных

Получение набора данных заключается в генерации пар: данные зашумлённого изображения на входе и ожидаемые, незашумлённые, на выходе. В качестве входных данных выбирается квадратное окно, сторона которого равна ( – нечётное), из зашумлённого изображения. Ожидаемое значение на выходе – это пиксель в центре окна на исходном изображении без шума. Таким образом, окно скользит вдоль всего изображения с заданным шагом. На рисунке 2.2 графически показан данный процесс на изображении размера 33, к которому добавили границы, равные размеру окна , где ширина окна составляет и шаг окна равняется 1.

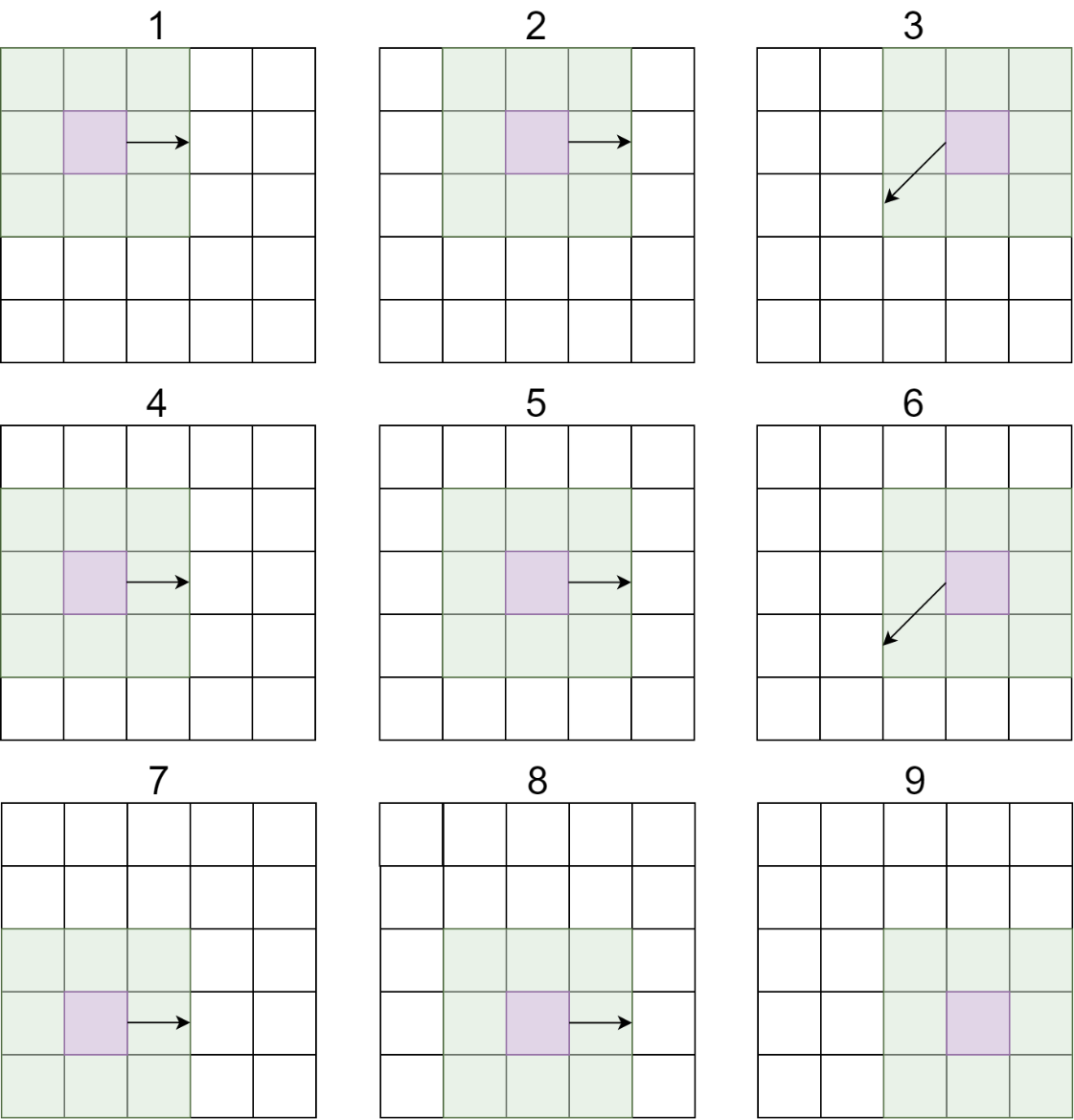


Рисунок 2.1. Процесс прохода окна с шириной окна N = 3 по изображению.

Полученные данные преобразуются в одномерный массив и записываются в файл, либо переменную для дальнейшего использования. Рисунок 2.3 иллюстрирует, каким образом двумерные данные конвертируются в одномерный вектор.

Изображение выглядит как диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 2.3 Процесс преобразование матрицы в вектор в общем виде. – количество элементов в строке и количество строк

Изложенный алгоритм действий применяется последовательно ко всем изображениям.

## Описание архитектуры

Архитектура нейронной сети состоит из полносвязных слоёв: входной слой, выходной и 4 скрытых. Для повышения качества работы модели используется нормировка данных между слоями [19]. В качестве функции активации выбрана ReLU [19], т. к. она подходит лучше других для задач обработки изображений и является вычислительно простой. Количество нейронов входного слоя равняется квадрату ширины окна . В задаче регрессии на выходе только один нейрон, если же задача классификации, в таком случае на выходе должен быть вектор длинной 256. Общая структура нейронной сети для задачи регрессии и классификации приведены на рисунках 2.4 и 2.5 соответственно. Количество нейронов в слое также указано на изображении.

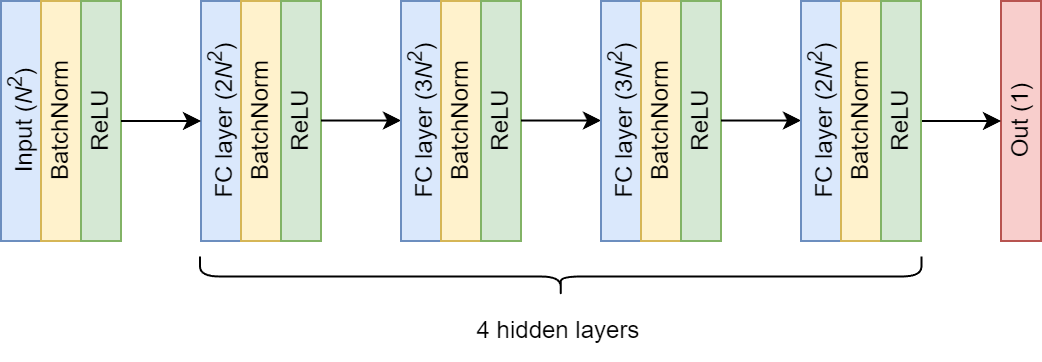


Рисунок 2.4. Архитектура полносвязной нейронной сети для решения задачи регрессии

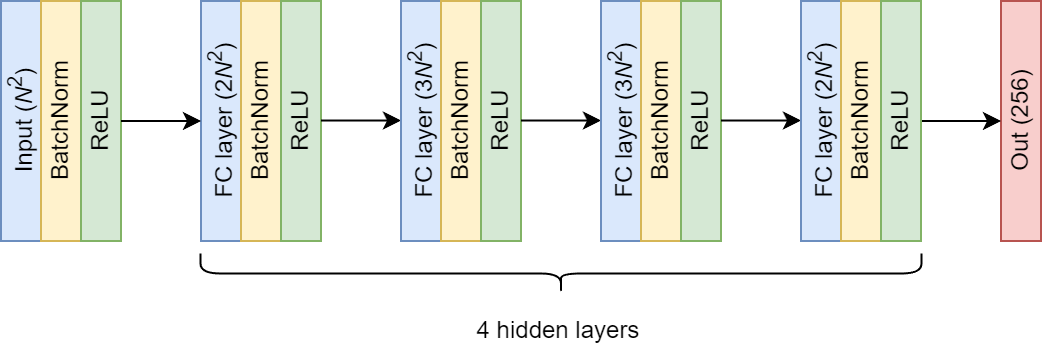


Рисунок 2.5 Архитектура полносвязной нейронной сети для решения задачи классификации

Архитектура нейронной сети для решения задачи регрессии выдаёт на выходе модели предсказание одного числа исходя из входных данных. В рассматриваемом случае предсказываемым числом является яркость одного пикселя.

Для задачи классификации модель на выходе предсказывает вероятности того, к какому классу относится объект на входе, следовательно, в решаемой задаче классов должно быть столько, сколько значений может принимать яркость пикселя: от 0 до 256. Для получения одного значения из массива получаемых данных применяется следующая формула:

где – яркость предсказываемого пикселя,

– данные на выходе модели.

## Обучение модели

Обучение модели происходит на синтезированных данных. На вход подаётся случайная часть изображения – окно.

Для задачи регрессии используется среднеквадратичное отклонение в качестве функции потерь, которое сравнивает полученное одно числовое значение, характеризующее яркость пикселя с реальным значением яркости пикселя из изображения без шума.

Так как задаче классификации модель возвращает не одно значение, а вектор, то необходимо реальное значение пикселя предварительно закодировать также в вектор длины 256, состоящий из нулей и одной единицы, индекс которой в массиве характеризует яркость пикселя. Для обучения данной архитектуры используется перекрёстная энтропия.

Оптимизатором выбран алгоритм Adam[20]. Таким образом, происходит минимизация функции потерь и поиск минимума функции.

## Фильтрация изображения

Фильтрация изображения происходит следующим образом: к РЛИ добавляются границы, после чего на вход модели подаётся одно окно пикселей с фиксированной шириной. Так как результат модели – предсказание одного незашумлённого пикселя, описанный алгоритм применяется столько раз, сколько пикселей в исходном изображении, после чего полученные данные формируют, согласно координатам центра окна, итоговое отфильтрованное изображение

## Метрики оценки качества

Для оценивания эффективности модели необходимо задать метрику, которая будет сравнивать отфильтрованное изображение с исходным. В данной работе оценивание производилось при помощи следующих алгоритмов: SSIM[21] и GMSD[22].

SSIM (Structural Similarity Index) позволяет оценить сходство между двумя изображениями, основываясь на их структурных характеристиках. Значение метрики SSIM формируется на основе трех факторов: яркости, контрастности и структуры.

Параметр яркости оценивает сходство между средними яркостями с помощью коэффициента яркости (), который вычисляется по формуле 2.2:

где и – средние яркости эталонного и сравниваемого изображений соответственно,

– константа для стабилизации деления на ноль.

Контрастность: Этот фактор оценивает сходство между стандартными отклонениями пикселей изображений. Оценивается с помощью коэффициента контрастности (), который вычисляется по формуле 2.3:

где и – стандартные отклонения пикселей изображений соответственно, – константа для стабилизации деления на ноль.

Структура: данный коэффициент оценивает сходство между корреляцией пикселей изображений. Оценивается с помощью коэффициента структуры (), который вычисляется по формуле 2.4:

где – ковариация между пикселями изображений,

– константа для стабилизации деления на ноль.

Общий коэффициент SSIM вычисляется как произведение трех вышеперечисленных коэффициентов по формуле 2.5:

где , и – весовые коэффициенты, которые задают важность каждого из факторов. Обычно, значения , и принимают равными 1, также сделано и в текущей работе.

Значение метрики SSIM лежит в пределах [-1, 1]. Чем ближе к 1, тем сравниваемые изображения считаются более схожими по своей структуре. Если значение метрики достигает 1 – изображения идентичны.

GMSD (Gradient Magnitude Similarity Deviation) — это метод оценки качества изображения, который измеряет отклонение между градиентами эталонного и сравниваемого изображений, что делает ее более чувствительной к искажениям, связанным с высокочастотными деталями и текстурой, чем другие метрики, такие как PSNR или SSIM.

Градиент вычисляется обычной свёрткой изображения с линейным фильтром, например: Собеля, Щара, Прюитта. Последний используется для поставленной задачи в силу своей простоты, его матрицы и для осей x и y соответственно представлены в формуле 2.6.

Значения градиентов и вычисляются для исходного и сравниваемого изображений соответственно по формулам 2.6 и 2.7 для каждой области

где – матрицы линейного фильтра для соответствующих осей,

– исходное и сравниваемое изображения соответственно,

– оператор свёртки.

Для упрощения введём два промежуточных значения: GMS (gradient magnitude similarity) формула 2.9 и GMSM (Gradient Magnitude Similarity Mean) формула 2.10. Они позволяют пересчитать значение искомой метрики. Первое выражение характеризует карту градиентов, второе характеризует усреднение карт градиентов.

где – константа для стабилизации деления на ноль.

Итоговая метрика GMSD вычисляется по формуле 2.11. Чем ближе получаемое значение к нулю, тем более похожими считаются изображения. Если значение метрики строго равно нулю, значит изображения на входе идентичны.

## Выводы

**Выводы**

Рекомендуется следующие параметры рукописи: Шрифт Times New Roman, кегль 14, интервал – 1,5. Поля – по 2 см сверху и снизу, 3 см слева, 1,5 см справа. Печать односторонняя.

В основной части приводят данные, отражающие сущность, методику и основные результаты. Основная часть должна содержать:

– выбор и обоснование направления исследований, методы решения задач и их сравнительную оценку, описание выбранной общей методики проведения работы;

– описание процесса теоретических и (или) экспериментальных исследований, методы исследований, методы расчета, обоснование необходимости проведения экспериментальных работ, принципы действия разработанных объектов, их характеристики;

– обобщение и оценку результатов исследований, включающих оценку полноты решения поставленных задач и предложения по дальнейшим направлениям работ, оценку достоверности полученных результатов, обоснование необходимости проведения дополнительных исследований, отрицательные результаты, приводящие к необходимости прекращения дальнейших исследований.

**Номер и наименование следующего раздела, подраздела или пункта.** **Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов. Каждый структурный элемент основной части начинают с новой страницы**

Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, где они упоминаются впервые, или на следующей странице. На все иллюстрации должны быть даны ссылки. При ссылке необходимо писать слово «Рисунок» и его номер, например: «в соответствии с Рисунком 1» и т.д. Иллюстрации, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией в пределах раздела (например, 1.2, 3.2 и т.д) или всего документа (например, 1, 2, 3 и т.д.). Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок», его номер и через тире наименование помещают после пояснительных данных и располагают в центре под рисунком без точки в конце. Если наименование рисунка состоит из нескольких строк, то его следует записывать через один межстрочный интервал. Перенос слов в наименовании графического материала не допускается. Между подрисуночной подписью и основным текстом необходим разделитель в виде пустой строки.

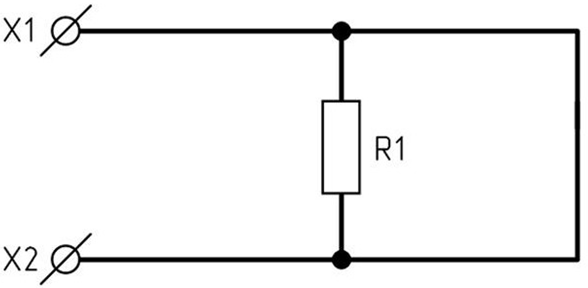


Рисунок 1 – Схема прибора

Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки. При ссылке следует печатать слово «таблица» с указанием номера. Наименование таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Наименование следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в следующем формате: Таблица Номер – Наименование таблицы. Наименование таблицы приводят с прописной буквы без точки в конце. Если наименование занимает две строки и более, то его следует записывать через один межстрочный интервал. Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другую страницу. При переносе части таблицы на другую страницу слово «Таблица», номер и наименование указывают один раз слева над первой частью таблицы, а над другими частями также слева пишут слова «Продолжение таблицы» и указывают ее номер. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номерами граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы. Таблица оформляется в соответствии с примером таблицы 1. Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией в пределах раздела (например, 1.2, 3.2 и т.д) или всего документа (например, 1, 2, 3 и т.д.). Заголовки граф и строк следует печатать с прописной буквы. В конце заголовков точки не ставятся. Названия заголовков указывают в единственном числе. Таблицы слева, справа, сверху и снизу ограничивают линиями. Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки и столбцы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей. В таблице допускается применять размер шрифта меньше (12 или 10), чем в основном тексте работы. Между подписью таблицы и основным текстом необходим разделитель в виде пустой строки.

Таблицы 1 – Номенклатура приставок

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приставка МЭК | Множитель | Приставка СИ | Множитель |
| киби | 210=1024 | кило | 103 |
| меби | 220=1048576 | мега | 106 |
| гиби | 230=1073741824 | гига | 109 |
| теби | 240=1099511627776 | тера | 1012 |
| пеби | 250=1125899906842624 | пета | 1015 |
| эксби | 260=1152921504606846976 | экса | 1018 |
| зеби | 270=1180591620717411303424 | зетта | 1021 |
| йоби | 280=1208925819614629174706176 | йотта | 1024 |

Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства или после других математических знаков. На новой строке знак повторяется. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «×». Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они представлены в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента необходимо приводить с новой строки. Первую строку пояснения начинают со слова «где» без двоеточия и абзацного отступа. Формулы следует располагать посередине строки и обозначать порядковой нумерацией в пределах всего текста работы арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке. Например, в своей работе Ом записал закон в следующем виде:

, (1)

где – показания гальванометра (в современных обозначениях, сила тока),

– величина, характеризующая свойства источника напряжения, постоянная в широких пределах и не зависящая от величины тока (в современной терминологии, электродвижущая сила),

– параметр, характеризующий свойства установки (в современных представлениях – учет внутреннего сопротивления источника тока),

– величина, определяемая длиной соединяющих проводов (в современных представлениях соответствует сопротивлению внешней цепи).

Ссылки на порядковые номера формул приводятся в скобках, например: «в соответствии с формулой (1)», «согласно выражению (1)» и т.п. Допускается нумерация формул в пределах раздела работы. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, т.е. (2.1).

Должны быть приведены ссылки на использованные источники. При нумерации ссылок на документы используется сплошная нумерация для всего текста работы. Порядковый номер ссылки приводят арабскими цифрами в квадратных скобках в конце текста ссылки. При этом порядковый номер библиографического описания источника в списке использованных источников соответствует номеру ссылки. Ссылаться следует на документ в целом или на его разделы и приложения, например: «в работах [1]–[4]», «в работе [9], раздел 5» и т.п.

Подробные требования по оформлению представлены в ГОСТ 7.32–2017 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Заключение должно содержать:

– краткие выводы по результатам выполненной работы;

– оценку полноты решений поставленных задач;

– разработку рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов;

– результаты оценки научно-технического уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в этой области.

Рекомендуемый объем заключения не более двух страниц.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте работы и нумеровать арабскими цифрами с точкой и печатать с абзацного отступа.

Примеры оформления статьи в периодических изданиях и сборниках статей:

1. Гуреев В.Н., Мазов Н.А. Использование библиометрии для оценки значимости журналов в научных библиотеках (обзор) II Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2015. – № 2. – С. 8–19.

2. Колкова Н.И., Скипор И.Л. Терминосистема предметной области «электронные информационные ресурсы»: взгляд с позиций теории и практики // Научн. и техн. б-ки. – 2016. – № 7. – С. 24–41.

3. G. Wang, M. Atef and Y. Lian, "Towards a Continuous Non-Invasive Cuffless Blood Pressure Monitoring System Using PPG: Systems and Circuits Review," in IEEE Circuits and Systems Magazine, vol. 18, no. 3, pp. 6-26, thirdquarter 2018, doi: 10.1109/MCAS.2018.2849261.

4. S. Song, Q. Lin, C. van Hoof and N. van Helleputte, "A 50μW Fully Differential Interface Amplifier With a Current Steering Class AB Output Stage for PPG and NIRS Recordings," in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 67, no. 9, pp. 1564-1568, Sept. 2020, doi: 10.1109/TCSII.2020.3002952.

Примеры оформления книг, монографий:

5. Земсков А.И., Шрайберг Я.Л. Электронные библиотеки: учебник для вузов. – М.: Либервя. 2003. – 351 с.

6. Костюк К.Н. Книга в новой медицинской среде. – М.: Директ-Медиа. 2015. – 430 с.

7. R. J. Baker. CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation. Fourth edition – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2019. – 1235 p.

Примеры оформления тезисов докладов, материалов конференций:

8. Легогин Е.Ю. Организация метаданных в хранилище данных // Научный поиск. Технические науки: Материалы 3-й нзуч. конф. аспирантов и докторантов / отв. за вып. С.Д. Ваулин: Юж.-Урал. гос. ун-т. Т. 2. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2011. – С. 128–132.

9. Антолольский А.Б. Система метаданных в электронных библиотеках // Библиотеки и ассоциации в меняющемся мире: Новые технологии и новые формы сотрудничества: Тр. 8-й Междунар. конф. «Крым-2001» / г. Судак, (июнь 2001 г.). – Т. 1. – М., 2001. – С. 287—298.

10. Парфенова С.Л., Гришакина Е.Г.. Золотарев Д.В. 4-я Международная научно-практическая конференция «Научное издание международного уровня – 2015: современные тенденции в мировой практике редактирования, издания и оценки научных публикациях. // Наука. Инновации. Образование. – 2015. – № 17. – С. 241–252.

11. M. Shuaib, "110dB Ω, 336MHz Bandwidth, Low Noise Transimpedance Amplifier," 2021 4th International Conference on Circuits, Systems and Simulation (ICCSS), 2021, pp. 143-147, doi: 10.1109/ICCSS51193.2021.9464209.

12. A. De Villa, "A 3.86 uW Miller-Compensated Inverter Transimpedance Amplifier for Photoplethysmography Sensing," 2021 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE), 2021, pp. 15-19, doi: 10.1109/ISEE51682.2021.9418794.

Пример оформления патентной документации:

13. BY (код страны) 18875 (№ патентного документа) С1 (код вида документа). 2010 (дата публикации).

Примеры оформления электронных ресурсов:

14. Статистические показатели российского книгоиздания в 2006 г.: цифры и рейтинги [Электронный ресурс]. – 2006. – URL: http://bookhamber.ru/stat\_2006.htm (дата обращения 12.03.2009).

15. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – URL: http://govemment.ru/media/files/41d4b737638891da2184/pdf (дата обращения 15.11.2016).

16. Web of Science. – URL: http://apps.webofknowtedge.com/ (дата обращения 15.11.2016).

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Наименование приложения**

Приложения могут включать графический материал, таблицы, расчеты, описания алгоритмов и программ. В тексте работы на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте работы. Каждое приложение следует размещать с новой страницы. Приложение должно иметь заголовок, который записывают с прописной буквы, полужирным шрифтом, отдельной строкой по центру без точки в конце. Приложения обозначают прописными буквами кириллического алфавита, начиная с А за исключением букв Ё, 3, И, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится буква обозначения этого приложения. Приложения должны иметь общую с остальной частью работы сквозную нумерацию страниц.