


**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

Факультет компьютерных наук
Департамент программной инженерии

СОГЛАСОВАНО

Научный руководитель,
Приглашенный преподаватель
Департамента больших данных и
информационного поиска


_____ О. Н. Качан
«13» мая 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ


Академический руководитель
ОП «Программная инженерия»
профессор департамента программной
инженерии, канд. техн. наук

_____ В. В. Шилов
«__» _____ 2023 г.

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| Инв. № дубл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инв. № подл | |

**Теория симплициальных сетей и ее применения для анализа данных:
Программная реализация библиотеки SimplicialX на языке C++
Программа и методика испытаний**

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ
RU.17701729.04.03-01 51 01-1-ЛУ**

Исполнитель:
студент группы БПИ213
 / Лобанов К. С. /
«13» мая 2023 г

Москва 2023

УТВЕРЖДЕН

RU.17701729.04.03-01 51 01-1-ЛУ

**ТЕОРИЯ СИМПЛИЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ
АНАЛИЗА ДАННЫХ: ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БИБЛИОТЕКИ
SIMPLICIALX НА ЯЗЫКЕ C++**

Программа и методика испытаний

RU.17701729.04.03-01 51 01–1

Листов 13

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| Инв. № дубл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инв. № подл | |

Москва 2023

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| АННОТАЦИЯ..... | 3 |
| 1. ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ | 4 |
| 1.1. Наименование программы..... | 4 |
| 1.2. Область применения..... | 4 |
| 1.3. Обозначение испытываемой программы..... | 4 |
| 2. ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ..... | 5 |
| 3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ | 6 |
| 3.1. Требования к функциональным характеристикам..... | 6 |
| 3.1.1. Требования к составу выполняемых функций..... | 6 |
| 3.1.2. Требования к интерфейсу | 6 |
| 3.1.3. Требования к организации входных данных | 6 |
| 3.1.4. Требования к организации выходных данных | 6 |
| 3.1.5. Требования к временным характеристикам..... | 7 |
| 3.2. Требования к надежности | 7 |
| 3.3. Требования к информационной и программной совместимости..... | 7 |
| 3.3.1. Требования к исходным кодам и языкам программирования..... | 7 |
| 4. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ | 8 |
| 4.1. Состав программной документации | 8 |
| 4.2. Специальные требования к программной документации | 8 |
| 5. СРЕДСТВА И ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЙ..... | 9 |
| 5.1. Технические средства, используемые во время испытаний | 9 |
| 5.2. Программные средства, используемые во время испытаний | 9 |
| 5.3. Порядок проведения испытаний..... | 9 |
| 6. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ..... | 10 |
| 6.1. Испытание выполнения требований к программной документации..... | 10 |
| 6.2. Проверка требований к функциональным характеристикам | 10 |
| 6.2.1. Добавление и удаление симплексов | 10 |
| 6.2.2. Вывод численных характеристик комплекса..... | 10 |
| 6.2.3. Построение (p, q)-графа | 11 |
| 6.2.4. Открытая звезда, закрытая звезда и линк | 11 |
| 6.2.5. Граничная матрица, матрица Лапласа и её спектр | 11 |
| 6.2.6. Вывод ошибок | 12 |
| ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ..... | 13 |

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д у бл | Подп.и дата |

АННОТАЦИЯ

Программа и методика испытаний – это документ, в котором содержится информация о программном продукте, а также полное описание приемочных испытаний для данного программного продукта.

Настоящая Программа и методика испытаний для «Теория симплициальных сетей и ее применения для анализа данных: Программная реализация библиотеки *SimplicialX* на языке C++» содержит следующие разделы: «Объект испытаний», «Цель испытаний», «Требования к программе», «Требования к программной документации», «Средства и порядок испытаний», «Методы испытаний».

В разделе «Объект испытаний» указаны наименование, область применения и обозначение испытуемой программы.

В разделе «Цель испытаний» указана цель проведения испытаний.

В разделе «Требования к программе» указаны требования, подлежащие проверке во время испытаний и заданные в техническом задании на проверку.

В разделе «Требования к программным документам» указаны состав программной документации, предъявляемой на испытания, а также специальные требования,

В разделе «Средства и порядок испытаний» указаны технические и программные средства, используемые во время испытаний, а также порядок проведения испытаний.

В разделе «Методы испытаний» приведены описания используемых методов испытаний.

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | | | |
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д у бл | Подп.и дата |

1. ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ**1.1. Наименование программы**

Полное наименование программы – «Теория симплициальных сетей и ее применения для анализа данных: Программная реализация библиотеки SimplicialX на языке C++».

1.2. Область применения

«Библиотека SimplicialX для C++» – это библиотека, позволяющая создавать симплициальные комплексы, менять их, добавляя и удаляя симплексы, а также извлекать признаковые описания.

1.3. Обозначение испытываемой программы

Имя библиотеки - SimplicialX

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | |
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д убл | Подп.и дата |

2. ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

Целью проведения испытаний является проверка того, что разработанная программа удовлетворяет функциональным требованиям, статистическим требованиям и требованиям к надежности, перечисленным в разделе «Требования к программе».

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | |
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д убл | Подп.и дата |

3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ

В рамках испытаний проверяется соответствие программы следующим требованиям, описанным в разделе 4 Технического задания.

3.1. Требования к функциональным характеристикам

3.1.1. Требования к составу выполняемых функций

Библиотека *SimplicialX* должна реализовывать следующие функции:

- Возможность создания симплициальных комплексов, их модификации с помощью добавления симплексов и их граней и удаления симплексов и их кограней, удаление симплициальных комплексов, хранение и изменение весов симплексов
- Хранение симплициальных комплексов в виде симплициального дерева или диаграммы Хассе
- Вывод списка симплексов, открытой звезды, закрытой звезды, линка симплекса
- Подсчет количества симплексов и f -вектора, Эйлеровой характеристики, числа Бетти
- Поиск собственных значений и векторов матрицы Лапласа, вычисление матрицы Лапласа с учетом весов или без учета весов, вычисление граничных матриц
- Подсчет для произвольных n -симплексов и r -симплексов следующих значений:
 1. (n, r) -степени симплексов
 2. (n, r) -коэффициент кластеризации
 3. (n, r) -центральности
 4. (n, r) -кратчайшие расстояния между двумя симплексами

3.1.2. Требования к интерфейсу

Требования к интерфейсу библиотеки не предъявляются.

3.1.3. Требования к организации входных данных

Для работы с библиотекой пользователю нужно сначала подключить её, затем он может вызывать нужные методы, при этом передавая соответствующие параметры.

3.1.4. Требования к организации выходных данных

Выходные данные зависят от вызываемого метода: в случае вычисления одного числа/матрицы/спектра матрицы искомые величины следует возвращать из функции с учётом требуемого типа данных. Когда на выходе пользователь ждет список симплексов или несколько величин (например, степень вершин в (p, q) -графе), все данные следует выводить пользователю, возвращаемого

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д укл | Подп.и дата |

значения в данном случае нет.

3.1.5. Требования к временным характеристикам

Требования к временным характеристикам библиотеки не предъявляются.

3.2. Требования к надежности

Программа должна обеспечивать проверку корректности входных данных. В случае некорректных данных она должна завершаться с соответствующим сообщением ошибки.

3.3. Требования к информационной и программной совместимости

3.3.1. Требования к исходным кодам и языкам программирования

Библиотека должна быть написана на языке C++. Допускается использование библиотек не из стандартной библиотеки C++.

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | |
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д убл | Подп.и дата |

4. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

4.1. Состав программной документации

1. «Теория симплициальных сетей и ее применения для анализа данных: Программная реализация библиотеки SimplicialX на языке C++». Техническое задание (ГОСТ 19.201-78).
2. «Теория симплициальных сетей и ее применения для анализа данных: Программная реализация библиотеки SimplicialX на языке C++». Программа и методика испытаний (ГОСТ 19.301-78).
3. «Теория симплициальных сетей и ее применения для анализа данных: Программная реализация библиотеки SimplicialX на языке C++». Пояснительная записка (ГОСТ 19.404-79).
4. «Теория симплициальных сетей и ее применения для анализа данных: Программная реализация библиотеки SimplicialX на языке C++». Руководство программиста (ГОСТ 19.504-79).

4.2. Специальные требования к программной документации

Документы к программе должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 19.106-78 и ГОСТами к каждому виду документа (см. п. 5.1.);

Пояснительная записка должна быть загружена в систему Антиплагиат через LMS «НИУ ВШЭ».

Документация и программа сдаются в электронном виде в формате .pdf или .docx. в архиве формата .zip или .rar;

В установленные сроки следующие документы:

- техническая документация,
- программный проект,
- исполняемый файл,
- отзыв руководителя,
- лист Антиплагиата

должны быть загружены одним или несколькими архивами в проект дисциплины «Курсовой проект 2023-2023» в личном кабинете в информационной образовательной среде LMS (Learning Management System) НИУ ВШЭ.

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д убл | Подп.и дата |

5. СРЕДСТВА И ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЙ**5.1. Технические средства, используемые во время испытаний**

- 1) Мышь или совместное указывающее устройство
- 2) Клавиатура
- 3) Монитор
- 4) Процессор: Intel Core i7
- 5) 5 ГБ свободного места на диске

5.2. Программные средства, используемые во время испытаний

Необходимое ПО для полноценного тестирования программы:

- операционная система Windows 10 64-разрядная;
- Microsoft Visual Studio 2017;

5.3. Порядок проведения испытаний

Испытания программы должны проводиться в следующем порядке:

- 1) Проверка требований к программной документации
- 2) Проверка требований к функциональным характеристикам

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д убл | Подп.и дата |

6. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

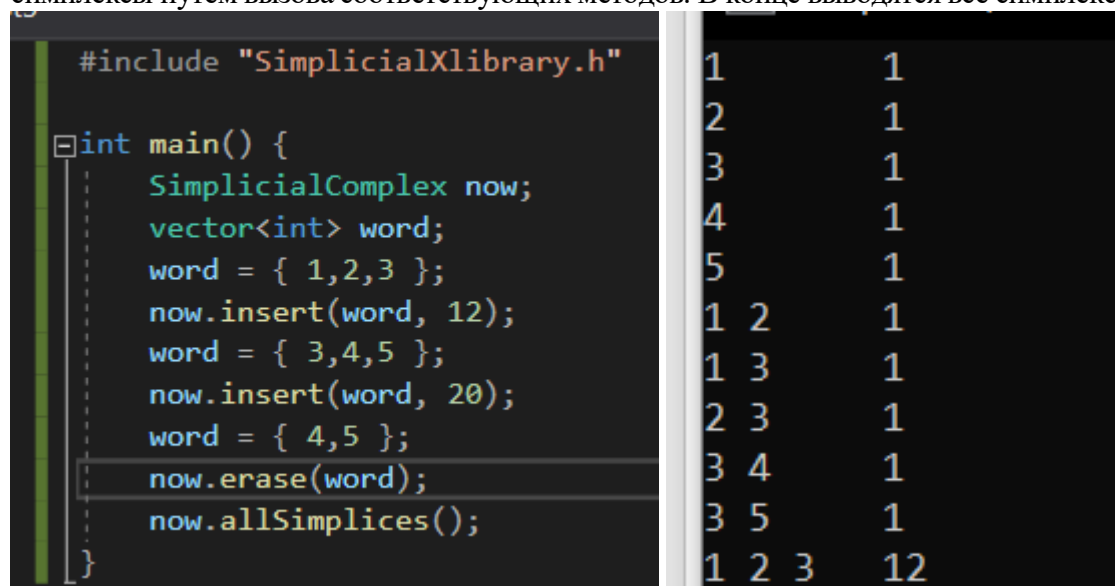
6.1. Испытание выполнения требований к программной документации

Состав программной документации проверяется визуально, проверяется наличие всех подписей и наличие программной документации в системе LMS. Также визуально проверяется соответствие документации требованиям ГОСТ. Все документы удовлетворяют представленным требованиям.

6.2. Проверка требований к функциональным характеристикам

6.2.1. Добавление и удаление симплексов

Сначала создается новый объект класса Simplicial complex, затем в него добавляются и удаляются симплексы путем вызова соответствующих методов. В конце выводятся все симплексы и их веса.



```
#include "SimplicialXlibrary.h"

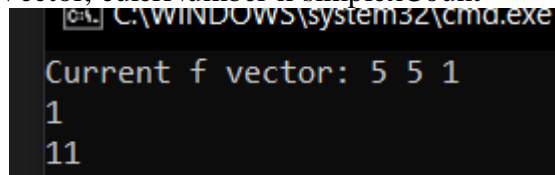
int main() {
    SimplicialComplex now;
    vector<int> word;
    word = { 1,2,3 };
    now.insert(word, 12);
    word = { 3,4,5 };
    now.insert(word, 20);
    word = { 4,5 };
    now.erase(word);
    now.allSimplices();
}
```

```
1      1
2      1
3      1
4      1
5      1
1 2    1
1 3    1
2 3    1
3 4    1
3 5    1
1 2 3  12
```

Рисунок 1 и 2. Код теста и результаты работы программы

6.2.2. Вывод численных характеристик комплекса

Были вызваны методы fVector, eulerNumber и simplexCount



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Current f vector: 5 5 1
1
11
```

Рисунок 3. Результаты работы методов fVector, eulerNumber и simplexCount

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | |
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д укл | Подп.и дата |

6.2.3. Построение (p, q)-графа

Были вызваны методы vertexDegreePQ, closeness, betweenness при значениях $p = 0$, $q = 1$

| | | | | | |
|---|---|---|----------|---|----------|
| 1 | 2 | 1 | 0.666667 | 1 | 0 |
| 2 | 2 | 2 | 0.666667 | 2 | 0 |
| 3 | 4 | 3 | 1 | 3 | 0.833333 |
| 4 | 1 | 4 | 0.571429 | 4 | 0 |
| 5 | 1 | 5 | 0.571429 | 5 | 0 |

Рисунок 4, 5, 6. Степени симплексов в получившемся графе, их closeness и betweenness центральности

6.2.4. Открытая звезда, закрытая звезда и линк

Были найдены открытая звезда, закрытая звезда и линк для симплекса {1, 2}

| | | |
|-------|----|-----|
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 1 |
| 3 | 4 | 1 |
| 1 2 | 1 | 1 |
| 1 3 | 1 | 1 |
| 2 3 | 1 | 1 |
| 1 2 3 | 12 | 2 3 |

Рисунок 7, 8, 9. Открытая звезда, закрытая звезда, линк для симплекса {1, 2}

6.2.5. Граничная матрица, матрица Лапласа и её спектр

Была найдена граничная матрица при входных параметрах 1 и 1, матрица Лапласа при значениях 1, 1, 1 и её спектр.

| | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| -1.0000 | -1.0000 | 0 | 0 | 0 |
| 1.0000 | 0 | -1.0000 | 0 | 0 |
| 0 | 1.0000 | 1.0000 | -1.0000 | -1.0000 |
| 0 | 0 | 0 | 1.0000 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0000 |

Рисунок 10. Полученная граничная матрица

| | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 3.0000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 3.0000 | 0 | -1.0000 | -1.0000 |
| 0 | 0 | 3.0000 | -1.0000 | -1.0000 |
| 0 | -1.0000 | -1.0000 | 2.0000 | 1.0000 |
| 0 | -1.0000 | -1.0000 | 1.0000 | 2.0000 |

Рисунок 11. Полученная матрица Лапласа

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д укл | Подп.и дата |

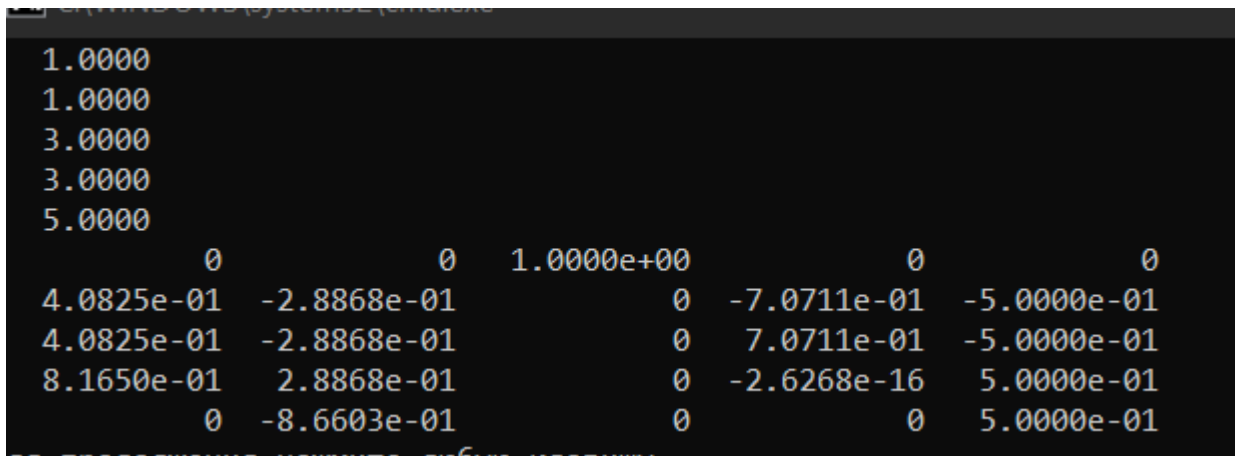


Рисунок 12. Собственные значения матрицы Лапласа и матрица из её собственных векторов

6.2.6. Вывод ошибок

В случае передачи некорректных параметров через аргументы метода в консоль должна выводиться информация о том, в каком виде задаются параметры, программа завершает свое выполнение.

```

#include "SimplicialXlibrary.h"

int main() {
    SimplicialComplex now;
    vector<int> word;
    word = { 1,2,3 };
    now.insert(word, 12);
    word = { 3,4,5 };
    now.insert(word, 20);
    word = { 4,5 };
    now.closeness(-1, 15);
}

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

Error: p and q can't be negative
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .

Рисунок 13. Пример неправильного вызова метода, в данном случае метода closeness

| | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | |
| Изм. | Лис | № докум. | Подп. | Дат |
| RU.17701729.04.03-01 51 01-1 | | | | |
| Инв.№ подл. | Подп.и дат а | Взам.инв. № | Инв.№ д укл | Подп.и дата |

