Московский Авиационный Институт

(Национальный Исследовательский Университет)

Факультет информационных технологий и прикладной математики

Кафедра вычислительной математики и программирования

Лабораторная работа №5-7 по курсу

«Операционные системы»

Студент: Корнев Максим Сергеевич
Группа: М8О–212Б–22
Вариант: 37
Преподаватель: Соколов Андрей Алексеевич
Оценка: _____
Дата: _____
Подпись: _____

Москва, 2023.

Постановка задачи

Цель работы

Целью является приобретение практических навыков в:

- 1. Управлении серверами сообщений (№5)
- 2. Применение отложенных вычислений (№6)
- 3. Интеграция программных систем друг с другом (№7)

Задание

Реализовать распределенную систему по асинхронной обработке запросов. В данной распределенной системе должно существовать 2 вида узлов: «управляющий» и «вычислительный». Необходимо объединить данные узлы в соответствии с той топологией, которая определена вариантом. Связь между узлами необходимо осуществить при помощи технологии очередей сообщений. Также в данной системе необходимо предусмотреть проверку доступности узлов в соответствии с вариантом. При убийстве («kill -9») любого вычислительного узла система должна пытаться максимально сохранять свою работоспособность, а именно все дочерние узлы убитого узла могут стать недоступными, но родительские узлы должны сохранить свою работоспособность.

Управляющий узел отвечает за ввод команд от пользователя и отправку этих команд на вычислительные узлы. Список основных поддерживаемых команд:

Создание нового вычислительного узла

Формат команды: create id [parent]

id – целочисленный идентификатор нового вычислительного узла

parent – целочисленный идентификатор родительского узла. Если топологией не предусмотрено введение данного параметра, то его необходимо игнорировать (если его ввели)

Формат вывода:

«Ok: pid», где pid – идентификатор процесса для созданного вычислительного узла

«Error: Already exists» - вычислительный узел с таким идентификатором уже существует

«Error: Parent not found» - нет такого родительского узла с таким идентификатором

«Error: Parent is unavailable» - родительский узел существует, но по каким-то причинам с ним не удается связаться

«Error: [Custom error]» - любая другая обрабатываемая ошибка

Пример:

Примечания: создание нового управляющего узла осуществляется пользователем программы при помощи запуска исполняемого файла. Id и pid — это разные идентификаторы.

Исполнение команды на вычислительном узле

Формат команды: exec id [params]

id – целочисленный идентификатор вычислительного узла, на который отправляется команда

Формат вывода:

«Ok:id: [result]», где result – результат выполненной команды

«Error:id: Not found» - вычислительный узел с таким идентификатором не найден

«Error:id: Node is unavailable» - по каким-то причинам не удается связаться с вычислительным узлом

«Error:id: [Custom error]» - любая другая обрабатываемая ошибка

Пример:

Можно найти в описании конкретной команды, определенной вариантом задания.

Примечание: выполнение команд должно быть асинхронным. Т.е. пока выполняется команда на одном из вычислительных узлов, то можно отправить следующую команду на другой вычислительный узел.

Вариант 37:

Топология 1.

Все вычислительные узлы находятся в списке. Есть только один управляющий узел. Чтобы добавить новый вычислительный узел к управляющему, то необходимо выполнить команду: create id -1.

Набор команд 2 (локальный целочисленный словарь).

Формат команды сохранения значения: exec id name value

id – целочисленный идентификатор вычислительного узла, на который отправляется команда name – ключ, по которому будет сохранено значение (строка формата [A-Za-z0-9]+)

value – целочисленное значение

Формат команды загрузки значения: exec id name

Пример:

> exec 10 MyVar

Ok:10: 'MyVar' not found

> exec 10 MyVar 5

Ok:10

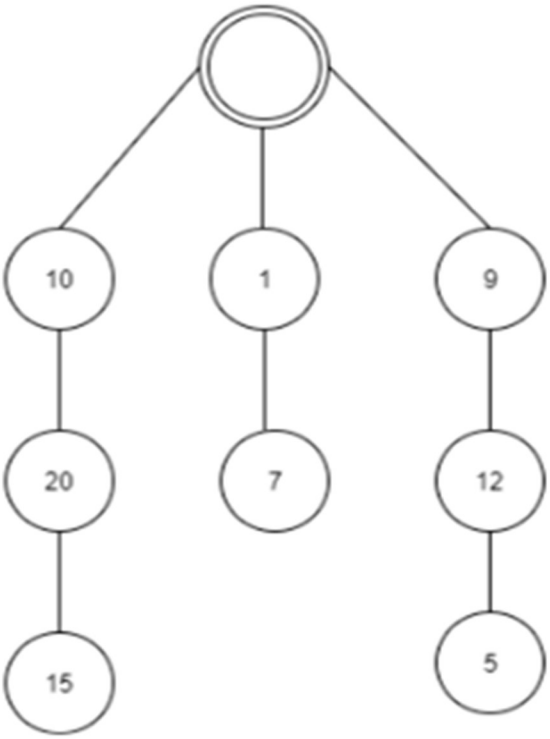
> exec 12 MyVar

Ok:12: 'MyVar' not found

> exec 10 MyVar

Ok:10: 5

> exec 10 MyVar 7



Примечания: Можно использовать std:map.

Команда проверки 1

Формат команды: pingall

Вывод всех недоступных узлов вывести разделенные через точку запятую.

Пример:

Ok: -1 // Все узлы доступны

Ok: 7;10;15 // узлы 7, 10, 15 — недоступны

Реализация

child.cpp

```
#include "zmq.hpp"
#include <sstream>
#include <string>
#include <iostream>
#include <zconf.h>
#include <vector>
#include <map>
#include <signal.h>
#include <fstream>
#include <algorithm>
#include <thread>

using namespace std;

string adr, adrChild;
zmq::context_t context(1); // параметр - количество потоков
zmq::socket_t mainSocket(context, ZMQ_REQ);
zmq::context_t contextChild(1);
zmq::socket_t childSocket(contextChild, ZMQ_REP);
vector<int> ChildrenId;
std::map<string, int> dict;
int idThisNode, childNodeId;

void sendMessage(const string& messageString, zmq::socket_t& socket) {
    zmq::message_t messageBack(messageString.size());
    memcpy(messageBack.data(), messageString.c_str(), messageString.size());
```

```
    if (!socket.send(messageBack)) {
        cerr << "Error: can't send message from node with pid " << getpid() << endl;
    }
}

void mapAccess(string receivedMessage, string idProcString, int idProc) {
    cout << "Function started in thread: " << std::this_thread::get_id() << endl;
    sleep(1);

    int value;
    bool isSpace = false;
    string key, valueStr, returnMessage;
    vector<int> answer;

    for (int i = 6 + idProcString.size(); i < receivedMessage.size(); ++i) {
        if (receivedMessage[i] != ' ' && !isSpace) {
            key += receivedMessage[i];
        } else {
            isSpace = true;
            valueStr += receivedMessage[i];
        }
    }

    if (isSpace) {
        value = stoi(valueStr);

        dict[key] = value;
        returnMessage += idProcString;
```

```
    } else {
        if (dict[key]){
            returnMessage += to_string(dict[key]);
        } else {
            returnMessage = """ + key + """ + " not found";

        }
    }

    cout << endl << "OK: " << returnMessage << endl;
    cout << "Function completed in thread: " << std::this_thread::get_id() << endl;
}

void funcCreate(string receivedMessage) {
    bool isSpace = false;
    int idNewProc, parentIdNewProc;
    string idNewProcString, parentIdNewProcString;

    for (int i = 7; i < receivedMessage.size(); ++i) {
        if (receivedMessage[i] == ' ') {
            isSpace = true;
        } else if (receivedMessage[i] != ' ' && !isSpace) {
            idNewProcString += receivedMessage[i];
        } else if (receivedMessage[i] != ' ' && isSpace) {
            parentIdNewProcString += receivedMessage[i];
        }
    }

    idNewProc = stoi(idNewProcString);
```

```
    parentIdNewProc = stoi(parentIdNewProcString);

    if (idNewProc == idThisNode) {
        sendMessage("Error: Already exists", mainSocket);
    } else {

        if (childNodeId == 0 && parentIdNewProc == idThisNode) {

            childNodeId = idNewProc;
            childSocket.bind(adrChild + to_string(childNodeId));
            adrChild += to_string(childNodeId);

            char* adrChildTmp = new char[adrChild.size() + 1];
            memcpy(adrChildTmp, adrChild.c_str(), adrChild.size() + 1);
            char* childIdTmp = new char[to_string(childNodeId).size() + 1];
            memcpy(childIdTmp, to_string(childNodeId).c_str(),
to_string(childNodeId).size() + 1);
            char* args[] = {"./child", adrChildTmp, childIdTmp, NULL};

            int procesId = fork();

            if (procesId == 0) {
                execv("./child", args);
                ChildrenId.push_back(idNewProc);
            } else if (procesId < 0) {
                cerr << "Error in forking in node with pid: " << getpid() << endl;
            } else {
                zmq::message_t messageFromNode;
```

```
            if (!childSocket.recv(messageFromNode)) {
                cerr << "Error: can't receive message from child node in node with
pid:" << getpid()
                     << endl;
            }

            if (!mainSocket.send(messageFromNode)) {
                cerr << "Error: can't send message to main node from node with pid:"
<< getpid() << endl;
            }
        }

        delete[] adrChildTmp;
        delete[] childIdTmp;

    } else if (childNodeId == 0 && parentIdNewProc != idThisNode) {
        sendMessage("Error: there is no such parent", mainSocket);
    } else if (childNodeId != 0 && parentIdNewProc == idThisNode) {
        sendMessage("Error: this parent already has a child", mainSocket);
    } else {
        sendMessage(receivedMessage, childSocket);
        zmq::message_t message;
        if (!childSocket.recv(message)) {
            cerr << "Error: can't receive message from child node in node with pid: "
<< getpid() << endl;
        }
        if (!mainSocket.send(message)) {
            cerr << "Error: can't send message to main node from node with pid: "
<< getpid() << endl;
        }
```

```
        }
    }
}

void funcExec(string receivedMessage) {
    int idProc;
    string idProcString;

    for (int i = 5; i < receivedMessage.size(); ++i) {
        if (receivedMessage[i] != ' ') {
            idProcString += receivedMessage[i];
        } else {
            break;
        }
    }

    idProc = stoi(idProcString);

    if (idProc == idThisNode) {

        thread workThread(mapAccess, receivedMessage, idProcString, idProc);

        workThread.detach();

        string returnMessage = "The child process performs calculations and outputs them when it finishes calculations";
        sendMessage(returnMessage, mainSocket);

    } else {
```

```
        if (childNodeId == 0) {
            sendMessage("Error: id: Not found", mainSocket);
        } else {
            zmq::message_t message(receivedMessage.size());
            memcpy(message.data(), receivedMessage.c_str(),
receivedMessage.size());

            if (!childSocket.send(message)) {
                cerr << "Error: can't send message to child node from node with pid: "
<< getpid() << endl;
            }
            if (!childSocket.recv(message)) {
                cerr << "Error: can't receive message from child node in node with pid: "
<< getpid() << endl;
            }
            if (!mainSocket.send(message)) {
                cerr << "Error: can't send message to main node from node with pid: "
<< getpid() << endl;
            }
        }
    }
}

void funcPing(string receivedMessage) {
    int idProc;
    string idProcString;

    for (int i = 5; i < receivedMessage.size(); ++i) {
        if (receivedMessage[i] != ' ') {
```

```
            idProcString += receivedMessage[i];
        } else {
            break;
        }
    }

    idProc = stoi(idProcString);

    if (idProc == idThisNode) {
        sendMessage("OK: 1", mainSocket);
    } else {
        if (childNodeId == 0) {
            sendMessage("OK: 0", mainSocket);
        } else {
            zmq::message_t message(receivedMessage.size());
            memcpy(message.data(), receivedMessage.c_str(),
receivedMessage.size());
            childSocket.send(message);
            childSocket.recv(message);
            mainSocket.send(message);
        }
    }
}

void funcKill(string receivedMessage) {
    int idProcToKill;
    string idProcToKillString;

    for (int i = 5; i < receivedMessage.size(); ++i) {
```

```
        if (receivedMessage[i] != ' ') {
            idProcToKillString += receivedMessage[i];
        } else {
            break;
        }
    }

    idProcToKill = stoi(idProcToKillString);

    if (childNodeId == 0) {
        sendMessage("Error: there isn`t node with this id child", mainSocket);
    } else {
        if (childNodeId == idProcToKill) {
            sendMessage("OK: " + to_string(childNodeId), mainSocket);
            sendMessage("DIE", childSocket);
            childSocket.unbind(adrChild);
            adrChild = "tcp://127.1.1.1:300";
            childNodeId = 0;
        } else {
            zmq::message_t message(receivedMessage.size());
            memcpy(message.data(), receivedMessage.c_str(),
receivedMessage.size());
            childSocket.send(message);
            childSocket.recv(message);
            mainSocket.send(message);
        }
    }
}
```

```
int main(int argc, char* argv[]) {
    adr = argv[1];
    mainSocket.connect(argv[1]);

    sendMessage("OK: " + to_string(getpid()), mainSocket);
    idThisNode = stoi(argv[2]);
    childNodeId = 0;
    adrChild = "tcp://127.1.1.1:300";

    while (true) {

        zmq::message_t messageMain;
        mainSocket.recv(messageMain);
        string receivedMessage(static_cast<char*>(messageMain.data()),
messageMain.size());
        string command;

        for (char element: receivedMessage) {
            if (element != ' ') {
                command += element;
            } else {
                break;
            }
        }

        if (command == "exec") {
            funcExec(receivedMessage);
        } else if (command == "create") {
            funcCreate(receivedMessage);
```

```
        } else if (command == "ping") {
            funcPing(receivedMessage);
        } else if (command == "kill") {
            funcKill(receivedMessage);
        } else if (command == "DIE") {
            if (childNodeId != 0) {
                sendMessage("DIE", childSocket);
                childSocket.unbind(adrChild);
            }
            mainSocket.unbind(adr);
            return 0;
        }
    }
}
```

parent.cpp

```
#include "zmq.hpp"
#include <sstream>
#include <string>
#include <iostream>
#include <zconf.h>
#include <vector>
#include <signal.h>
#include <sstream>
#include <set>
#include <algorithm>

using namespace std;

zmq::context_t context(1);
```

```
string adr = "tcp://127.1.1.1:300";
string command;
vector<int> childesId;
vector<int> allChildrenId;
vector<unique_ptr<zmq::socket_t>> sockets;

void createChildFromMainNode(int childId) {
    auto socket = std::make_unique<zmq::socket_t>(context, ZMQ_REP);

    socket->bind(adr + to_string(childId));
    string new_adr = adr + to_string(childId);

    char* adr_ = new char[new_adr.size() + 1];
    memcpy(adr_, new_adr.c_str(), new_adr.size() + 1);

    char* id_ = new char[to_string(childId).size() + 1];
    memcpy(id_, to_string(childId).c_str(), to_string(childId).size() + 1);

    char* args[] = {"./child", adr_, id_, NULL};

    int processId = fork();
    if (processId < 0) {
        cerr << "Unable to create first worker node" << endl;
        childId = 0;
        exit(1);
    } else if (processId == 0) {
        execv("./child", args);
    }
```

```
    allChildrenId.push_back(childId);
    childesId.push_back(childId);
    sockets.push_back(std::move(socket));

    zmq::message_t message;
    sockets[sockets.size() - 1]->recv(message);

    string receiveMessage(static_cast<char*>(message.data()), message.size());
    cout << receiveMessage << endl;

    delete[] adr_;
    delete[] id_;
}

void funcCreate() {
    int childId, parentId;
    cin >> childId >> parentId;

    if (childesId.empty()) {

        if (parentId != -1) {
            cerr << "There is no such parent node" << endl;
            return;
        }

        createChildFromMainNode(childId);

    } else {
        if (parentId == -1) {
```

```
        bool wasChild = false;
        for (int indexInChildes = 0; indexInChildes < childesId.size();
++indexInChildes) {
            if (childesId[indexInChildes] == childId) {
                cout << "This id has already been created" << endl;
                wasChild = true;
                break;
            }
        }
        if (wasChild) {
            return;
        }

        createChildFromMainNode(childId);

    } else {
        string messageString = command + " " + to_string(childId) + " " +
to_string(parentId);

        for (int indexOfSockets{0}; indexOfSockets < sockets.size();
++indexOfSockets) {

            zmq::message_t message(messageString.size());
            memcpy(message.data(), messageString.c_str(), messageString.size());

            sockets[indexOfSockets]->send(message);
            sockets[indexOfSockets]->recv(message);
            string receiveMessage(static_cast<char*>(message.data()),
message.size());
```

```
            if (receiveMessage[0] == 'O' && receiveMessage[1] == 'K') {
                allChildrenId.push_back(childId);
                cout << receiveMessage << endl;
                break;
            } else if (receiveMessage == "Error: Already exists") {
                cout << receiveMessage << endl;
                break;
            } else if (receiveMessage == "Error: this parent already has a child") {
                cout << receiveMessage << endl;
                break;
            } else if (receiveMessage == "Error: there is no such parent" &&
                    indexOfSockets == sockets.size() - 1) {
                cout << receiveMessage << endl;
                break;
            }
        }
    }
}

void funcExec() {
    int id, value, flag = -1;

    string inputLine, key, valueStr, idStr;
    getline(cin, inputLine);

    for (int index{0}; index < inputLine.size(); ++index) {
        if (inputLine[index] == ' ') {
```

```
            flag++;
        } else if (inputLine[index] != ' ' && (flag == 0)) {
            idStr += inputLine[index];
        } else if (inputLine[index] != ' ' && (flag == 1)) {
            key += inputLine[index];
        } else if (inputLine[index] != ' ' && (flag == 2)) {
            valueStr += inputLine[index];
        }
    }

    id = stoi(idStr);

    string messageString = command + " " + to_string(id) + " " + key;

    if (flag == 2) {
        value = stoi(valueStr);
        messageString = messageString + " " + to_string(value);
    }

    for (int indexOfSockets{0}; indexOfSockets < sockets.size();
++indexOfSockets) {

        zmq::message_t message(messageString.size());
        memcpy(message.data(), messageString.c_str(), messageString.size());

        sockets[indexOfSockets]->send(message);
        sockets[indexOfSockets]->recv(message);
        string receiveMessage(static_cast<char*>(message.data()), message.size());
```

```
        if (receiveMessage[0] == 'T' && receiveMessage[1] == 'h' &&
receiveMessage[2] == 'e') {
            cout << receiveMessage << endl;
            sleep(2);
            break;
        } else if (receiveMessage == "Error: id: Not found" &&
                indexOfSockets == sockets.size() - 1) {
            cout << receiveMessage << endl;
            break;
        }
    }
}

int funcPing(int id) {
    int unavailableProc = NULL;

    if (childesId.empty()) {
        cout << "OK: 0" << endl;
    } else {

        command = "ping";
        string messageString = command + " " + to_string(id);

        for (int indexOfSockets{0}; indexOfSockets < sockets.size();
++indexOfSockets) {

            zmq::message_t message(messageString.size());
            memcpy(message.data(), messageString.c_str(), messageString.size());
```

```
            sockets[indexOfSockets]->send(message);
            sockets[indexOfSockets]->recv(message);
            string receiveMessage(static_cast<char*>(message.data()), message.size());

            if (receiveMessage == "OK: 1") {
                break;
            } else if (receiveMessage == "OK: 0" &&
                    indexOfSockets == sockets.size() - 1) {
                unavailableProc = id;
                break;
            }

        }
        return unavailableProc;
    }
}

void funcPingAll() {
    if (childesId.size() == 0) {
        cout << "Error: there are no processes" << endl;
    } else {

        set<int> unavailableProcs;
        for (int i{0}; i < allChildrenId.size(); ++i) {
            int ProcStatus = funcPing(allChildrenId[i]);
            if(ProcStatus) {
                unavailableProcs.insert(ProcStatus);
            }
        }
```

```
        if (unavailableProcs.empty()) {
            cout << "OK: -1" << endl;
        } else {

            cout << "OK: ";
            for (int const &proc : unavailableProcs) {
                cout << proc << "; ";
            }
            cout << endl;
        }
    }
}

void funcKill() {
    int id;
    cin >> id;

    if (childesId.empty()) {
        cout << "Error: there isn't nodes" << endl;
    } else {

        for (int indexOfSockets{0}; indexOfSockets < sockets.size();
++indexOfSockets) {

            if (childesId[indexOfSockets] == id) {
                string killMessage = "DIE";
                zmq::message_t message(killMessage.size());
                memcpy(message.data(), killMessage.c_str(), killMessage.size());
```

```
            sockets[indexOfSockets]->send(message);

            sockets[indexOfSockets]->unbind(adr +
to_string(childesId[indexOfSockets]));

            childesId.erase(childesId.begin() + indexOfSockets);
            sockets.erase(sockets.begin() + indexOfSockets);

            cout << "Node deleted successfully" << endl;

            break;
        } else {
            string killMessage = command + " " + to_string(id);
            zmq::message_t message(killMessage.size());
            memcpy(message.data(), killMessage.c_str(), killMessage.size());

            sockets[indexOfSockets]->send(message);
            sockets[indexOfSockets]->recv(message);
            string receiveMessage(static_cast<char*>(message.data()),
message.size());

            if (receiveMessage[0] == 'O' && receiveMessage[1] == 'K') {
                cout << receiveMessage << endl;
                break;
            } else if (receiveMessage == "Error: there isn`t node with this id" &&
                    indexOfSockets == sockets.size() - 1) {
                cout << receiveMessage << endl;
                break;
            }
```

```
            }
        }
    }
}

void funcExit() {
    for (int indexOfSockets{0}; indexOfSockets < sockets.size();
++indexOfSockets) {

        if (childesId[indexOfSockets]) {
            string killMessage = "DIE";
            zmq::message_t message(killMessage.size());
            memcpy(message.data(), killMessage.c_str(), killMessage.size());

            sockets[indexOfSockets]->send(message);
        }
        sockets[indexOfSockets]->close();

    }

    cout << "All node was deleted" << endl;
    context.close();
    exit(0);
}

int main() {

    while (true) {
```

```
        cout << "command:";
        cin >> command;

        if (command == "create") {
            funcCreate();
        } else if (command == "exec") {
            funcExec();
        } else if (command == "pingall") {
            funcPingAll();
        } else if (command == "kill") {
            funcKill();
        } else if (command == "exit") {
            funcExit();
        } else {
            cout << "Error: incorrect command" << endl;
        }
    }
}
```

CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.10)
project(DistributedSystem)

set(CMAKE_CXX_STANDARD 14)

## load in pkg-config support
find_package(PkgConfig)
## use pkg-config to get hints for 0mq locations
pkg_check_modules(PC_ZeroMQ QUIET zmq)
```

```
## use the hint from above to find where 'zmq.hpp' is located
find_path(ZeroMQ_INCLUDE_DIR
        NAMES zmq.hpp
        PATHS ${PC_ZeroMQ_INCLUDE_DIRS}
)

## use the hint from above to find the location of libzmq
find_library(ZeroMQ_LIBRARY
        NAMES zmq
        PATHS ${PC_ZeroMQ_LIBRARY_DIRS}
)

# Добавляем исполняемый файл main
add_executable(main parent.cpp)

# Подключаем каталоги и библиотеки ZeroMQ
target_include_directories(main PRIVATE ${ZeroMQ_INCLUDE_DIR})
target_link_libraries(main PRIVATE ${ZeroMQ_LIBRARY})

add_executable(child child.cpp)

# Подключаем каталоги и библиотеки ZeroMQ
target_include_directories(child PRIVATE ${ZeroMQ_INCLUDE_DIR})
target_link_libraries(child PRIVATE ${ZeroMQ_LIBRARY})
```

Пример работы

radioactive@DESKTOP-RNP2IGB:/mnt/d/labs/os_lab_5-7$ ./main

command:create 1 -1

OK: 439

command:create 2 1

OK: 445

command:create 3 2

OK: 452

command:create 4 -1

OK: 457

command:create 5 4

OK: 462

command:create 6 4

Error: this parent already has a child

command:pingall

OK: -1

command:kill 4

Node deleted successfully

command:pingall

OK: 4; 5;

command:exec 3 first 10

Function started in thread: 139692066469440

The child process performs calculations and outputs them when it finishes calculations

OK: 3

Function completed in thread: 139692066469440

command:exec 3 second

Function started in thread: 139692066469440

The child process performs calculations and outputs them when it finishes calculations

OK: 'second' not found

Function completed in thread: 139692066469440

command:exit

All node was deleted

radioactive@DESKTOP-RNP2IGB:/mnt/d/labs/os_lab_5-7$

Вывод

В ходе данной работы я познакомился с очередями сообщений - еще одним способом обмениваться данными между процессами. Я использовал библиотеку **zeromq** для реализации данной лабораторной. На мой взгляд это самая интересная и полезная из всех лабораторных работ. В ней я использовал большое количество технологий и знаний из предыдущих лабораторных работ.