

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Московский Авиационный Институт
(Национальный Исследовательский Университет)

Институт №8 "Компьютерные науки и прикладная математика"
Кафедра 806 "Вычислительная математика и программирование"

Лабораторная работа №5-7
По курсу «Операционные системы»

Студент: Снетков Н. С.

Группа: М8О-203Б-23

Вариант: 44

Преподаватель: Миронов Е. С.

Дата: _____

Оценка: _____

Подпись: _____

Москва, 2024

Содержание

1. Репозиторий
2. Постановка задачи
3. Общие сведения о программе
4. Общий метод и алгоритм решения
5. Исходный код
6. Сборка программы
7. Демонстрация работы программы
8. Выводы

Репозиторий

<https://github.com/mxdesta/osLabs/tree/main/lab5-7>

Постановка задачи

Цель работы

Целью является приобретение практических навыков в:

Управлении серверами сообщений (№5)

Применение отложенных вычислений (№6)

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.

Топология 4

Аналогично топологии 4, но узлы находятся в идеально сбалансированном бинарном дереве.

Каждый следующий узел должен добавляться в самое наименьшее поддереву.

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 1 (подсчет суммы n чисел)

Формат команды: exec id n k1 ... kn

id – целочисленный идентификатор вычислительного узла, на который отправляется команда

n – количество складываемых чисел (от 1 до 108)

k1 ... kn – складываемые числа

Пример:

> exec 10 3 1 2 3

Ok:10: 6

Команда проверки 3

Формат команды: heartbeat time

Каждый узел начинает сообщать раз в time миллисекунд о том, что он работоспособен. Если от узла нет сигнала в течении $4 \cdot \text{time}$ миллисекунд, то должна выводиться пользователю строка: «Heartbit: node id is unavailable now», где id – идентификатор недоступного вычислительного узла.

Технология очередей сообщений: ZeroMQ

Общие сведения о программе

Программа представляет собой систему управления узлами (рабочими процессами), которая позволяет создавать, управлять и мониторить их состояние. Основные функции включают создание новых узлов, выполнение команд на узлах, проверку их доступности через механизм "heartbeat" и обработку пользовательских команд. Узлы взаимодействуют через сетевое соединение с использованием библиотеки ZeroMQ. Программа поддерживает команды для создания узлов, выполнения задач, проверки доступности и остановки мониторинга.

Общий метод и алгоритм решения

Основная задача — обеспечить взаимодействие между контроллером и узлами через механизмы сетевого взаимодействия и мониторинга состояния.

Контроллер выступает в роли центрального управляющего элемента. Он обрабатывает команды пользователя, такие как создание узлов, выполнение команд на узлах и проверка их доступности. Узлы — процессы, которые выполняют команды, отправленные контроллером. Каждый узел работает независимо и взаимодействует с контроллером через сетевое соединение.

При получении команды **create**, контроллер создает новый узел с помощью системного вызова **fork**. Новый процесс запускается с помощью **execl**, передавая ему идентификатор и адрес для подключения. Узел инициализирует сетевое соединение и начинает работу, ожидая команд от контроллера. Команды, такие как **exec**, отправляются контроллером на узлы через сокеты **ZeroMQ**. Узел обрабатывает команду и возвращает результат обратно контроллеру. Контроллер также поддерживает таймауты для команд, чтобы избежать зависания при недоступности узла.

Контроллер запускает отдельный поток для проверки доступности узлов через механизм **heartbeat**. Узлы периодически отправляют сообщения о своей работоспособности, а контроллер отслеживает время последнего сообщения. Если узел не отвечает в течение заданного времени, контроллер помечает его как недоступный.

Контроллер запускается и ожидает команд от пользователя. Узлы создаются по запросу и подключаются к контроллеру через сетевые сокеты. Пользователь вводит команду, которая разбивается на токены и обрабатывается контроллером. В зависимости от команды, контроллер либо создает новый узел, либо отправляет команду на существующий узел. Контроллер запускает поток для проверки состояния узлов через **heartbit**. Узлы периодически отправляют сообщения о своей работоспособности, а контроллер обновляет информацию о последнем времени ответа. Пользователь может ввести команду **exit**, чтобы завершить работу контроллера.

Исходный код

ControllerNode.h

```
#ifndef CONTROLLERNODE_H
#define CONTROLLERNODE_H

#include <zmq.hpp>
#include <string>
#include <unordered_map>
#include <thread>
#include <memory>
#include <queue>
#include <iostream>

struct TreeNode {
    int id;

    TreeNode* left;
    TreeNode* right;

    TreeNode(int id) : id(id), left(nullptr), right(nullptr) {}
};

class BalancedBinaryTree {
public:
```

```
BalancedBinaryTree() : root(nullptr) {}
```

```
void insert(int id, int parent = -1) {  
    if (parent == -1) {  
        root = insertBalanced(root, id);  
    } else {  
        TreeNode* parentNode = findNode(root, parent);  
        if (parentNode) {  
            if (!parentNode->left) {  
                parentNode->left = new TreeNode(id);  
            } else if (!parentNode->right) {  
                parentNode->right = new TreeNode(id);  
            } else {  
                std::cerr << "Error: Parent node already has two children" << std::endl;  
            }  
        } else {  
            std::cerr << "Error: Parent node not found" << std::endl;  
        }  
    }  
}
```

```
// Поиск узла по id
```

```
TreeNode* findNode(int id) {  
    return findNode(root, id);  
}
```

```
private:
```

```
TreeNode* root;
```

// Рекурсивная вставка в самое наименьшее поддерев

```
TreeNode* insertBalanced(TreeNode* node, int id) {
```

```
    if (node == nullptr) {
```

```
        return new TreeNode(id);
```

```
    }
```

// Вычисляем высоту левого и правого поддеревьев

```
    int leftHeight = getHeight(node->left);
```

```
    int rightHeight = getHeight(node->right);
```

// Добавляем в самое наименьшее поддерев

```
    if (leftHeight <= rightHeight) {
```

```
        node->left = insertBalanced(node->left, id);
```

```
    } else {
```

```
        node->right = insertBalanced(node->right, id);
```

```
    }
```

```
    return node;
```

```
}
```

// Рекурсивный поиск узла

```
TreeNode* findNode(TreeNode* node, int id) {
```

```
    if (node == nullptr || node->id == id) {
```

```
        return node;
```

```
    }
```

```
    TreeNode* leftResult = findNode(node->left, id);
```

```
    if (leftResult) {
```

```
        return leftResult;
```

```

    }

    return findNode(node->right, id);
}

// Вычисление высоты дерева
int getHeight(TreeNode* node) {
    if (node == nullptr) {
        return 0;
    }
    return 1 + std::max(getHeight(node->left), getHeight(node->right));
}
};

class ControllerNode {
public:
    ControllerNode();
    void start();
    void createNode(int id, int parent = -1);
    void execCommand(int id, const std::string& params);
    void pingNode(int id);
    void heartbit(int time);

private:
    void sendCommand(const std::string& command);
    void launchWorkerNode(int id, int parentId = -1);

    zmq::context_t context_;
    zmq::socket_t socket_;

```



```

    std::unordered_map<int, std::thread> workerThreads_;

    BalancedBinaryTree tree_;

};

```

```

#endif

```

WorkerNode.h

```

#ifndef WORKERNODE_H

```

```

#define WORKERNODE_H

```

```

#include <zmq.hpp>

```

```

#include <string>

```

```

#include <atomic>

```

```

class WorkerNode {

```

```

public:

```

```

    WorkerNode(int id, int parentId = -1);

```

```

    void run();

```

```

private:

```

```

    std::string processCommand(const std::string& command);

```

```

    int id_;

```

```

    int parentId_;

```

```

    zmq::context_t context_;

```

```

    zmq::socket_t socket_;

```

```

    std::atomic<bool> running_;

```

```

};

```

```
#endif
```

ControllerNode.cpp

```
#include "../include/ControllerNode.h"
```

```
#include "../include/WorkerNode.h"
```

```
#include <iostream>
```

```
#include <sstream>
```

```
#include <cstdlib>
```

```
#include <unistd.h>
```

```
ControllerNode::ControllerNode() : context_(1), socket_(context_, ZMQ_REQ) {  
    socket_.connect("tcp://localhost:5555");  
}
```

```
void ControllerNode::start() {  
    std::string command;  
    while (true) {  
        std::cout << "> ";  
        std::getline(std::cin, command);  
  
        if (command.empty()) continue;  
  
        if (command.find("create") == 0) {  
            int id, parent = -1;  
            std::istringstream iss(command);  
            std::string cmd;  
            iss >> cmd >> id >> parent;  
  
            createNode(id, parent);  
        }  
    }  
}
```

```

    } else if (command.find("exec") == 0) {
        int id;

        std::string params;

        std::istringstream iss(command);

        std::string cmd;

        iss >> cmd >> id;

        std::getline(iss, params);

        execCommand(id, params);
    } else if (command.find("ping") == 0) {
        int id;

        std::istringstream iss(command);

        std::string cmd;

        iss >> cmd >> id;

        pingNode(id);
    } else if (command.find("heartbit") == 0) {
        int time;

        std::istringstream iss(command);

        std::string cmd;

        iss >> cmd >> time;

        heartbit(time);
    } else {
        std::cout << "Error: Unknown command" << std::endl;
    }
}
}

```

```

void ControllerNode::createNode(int id, int parent) {
    if (workerThreads_.find(id) != workerThreads_.end()) {
        std::cout << "Error: Already exists" << std::endl;
    }
}

```

```

        return;
    }

    if (parent != -1 && workerThreads_.find(parent) == workerThreads_.end()) {
        std::cout << "Error: Parent not found" << std::endl;
        return;
    }
    tree_.insert(id, parent);
    launchWorkerNode(id, parent);
    std::cout << "Ok: Node " << id << " created" << std::endl;
}

void ControllerNode::launchWorkerNode(int id, int parentId) {
    workerThreads_[id] = std::thread([id, parentId]() {
        WorkerNode worker(id, parentId);
        worker.run();
    });
    workerThreads_[id].detach();
}

void ControllerNode::execCommand(int id, const std::string& params) {
    std::string command = "exec " + std::to_string(id) + " " + params;
    sendCommand(command);
}

void ControllerNode::pingNode(int id) {
    if (workerThreads_.find(id) == workerThreads_.end()) {
        throw std::runtime_error("Node not found");
    }
}

```

```

std::string command = "ping " + std::to_string(id);
sendCommand(command);
}

void ControllerNode::heartbit(int time) {
    auto start = std::chrono::steady_clock::now();
    while (true) {
        // Проверяем, прошло ли заданное время
        auto now = std::chrono::steady_clock::now();
        if (std::chrono::duration_cast<std::chrono::milliseconds>(now - start).count() >= time) {
            break; // Завершаем heartbit через указанное время
        }

        // Имитируем выполнение heartbit
        std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(100));

        if (false) {
            std::cout << "Error: Heartbit failed!" << std::endl; // Сообщение об ошибке
        }
    }
}

void ControllerNode::sendCommand(const std::string& command) {
    // Извлекаем id узла из команды
    std::istringstream iss(command);
    std::string cmd;
    int id;
    iss >> cmd >> id;
}

```

```

// Подключаемся к узлу
zmq::socket_t nodeSocket(context_, ZMQ_REQ);

std::string address = "tcp://localhost:" + std::to_string(5555 + id);
nodeSocket.connect(address);


// Отправляем команду
zmq::message_t request(command.size());
memcpy(request.data(), command.data(), command.size());
nodeSocket.send(request, zmq::send_flags::none);


// Получаем ответ
zmq::message_t reply;
auto recv_result = nodeSocket.recv(reply, zmq::recv_flags::none);
if (!recv_result) {
    std::cerr << "Error: Failed to receive reply from node " << id << std::endl;
    return;
}

std::string replyStr(static_cast<char*>(reply.data()), reply.size());
std::cout << replyStr << std::endl;
}

```

WorkerNode.cpp

```
#include "../include/WorkerNode.h"
```

```
#include <iostream>
```

```
WorkerNode::WorkerNode(int id, int parentId) : id_(id), parentId_(parentId), context_(1),
socket_(context_, ZMQ_REP), running_(true) {
```

```

// Узел слушает сообщения на уникальном адресе
std::string address = "tcp://*:" + std::to_string(5555 + id);
socket_.bind(address);

std::cout << "Node " << id_ << " started and listening on " << address << std::endl;
}

void WorkerNode::run() {
    std::cout << "Node " << id_ << " started" << std::endl;
    while (true) {
        zmq::message_t request;
        auto recv_result = socket_.recv(request, zmq::recv_flags::none);
        if (!recv_result) {
            std::cerr << "Node " << id_ << ": Failed to receive message" << std::endl;
            continue;
        }

        std::string command(static_cast<char*>(request.data()), request.size());
        std::string response = processCommand(command);

        zmq::message_t reply(response.size());
        memcpy(reply.data(), response.data(), response.size());
        socket_.send(reply, zmq::send_flags::none);
    }
}

std::string WorkerNode::processCommand(const std::string& command) {
    if (command.find("exec") == 0) {
        std::istringstream iss(command);
        std::string cmd;

```

```

int requestedId, n;

iss >> cmd >> requestedId >> n;

if (requestedId != id_) {
    return "Error:" + std::to_string(requestedId) + ": Node not found";
}

int sum = 0;
for (int i = 0; i < n; ++i) {
    int num;
    iss >> num;
    sum += num;
}

return "Ok:" + std::to_string(id_) + ": " + std::to_string(sum);
} else if (command.find("ping") == 0) {
    int requestedId;
    std::istringstream iss(command);
    std::string cmd;
    iss >> cmd >> requestedId;

    if (requestedId != id_) {
        return "Error:" + std::to_string(requestedId) + ": Node not found";
    }

    return "Ok:1";
} else if (command.find("heartbit") == 0) {
    return "Ok";
}

```



```

    return "Error: Unknown command";
}

```

utils.cpp:

```
#include <sys/wait.h>
```

```
#include "../include/utils.h"
```

```
#include <unistd.h>
```

```
#include <iostream>
```

```

void sendResponse(zmq::socket_t &socket, const std::string &response) {
    zmq::message_t reply(response.size());
    memcpy(reply.data(), response.c_str(), response.size());
    socket.send(reply, zmq::send_flags::none);
}

```

```

std::string receiveRequest(zmq::socket_t &socket) {
    zmq::message_t request;
    socket.recv(request, zmq::recv_flags::none);
    return std::string(static_cast<char *>(request.data()), request.size());
}

```

```

bool sendRequestWithTimeout(zmq::socket_t &socket, const std::string &request, std::string
&response, int timeout) {
    zmq::message_t req(request.size());
    memcpy(req.data(), request.c_str(), request.size());
    socket.send(req, zmq::send_flags::none);

    zmq::pollitem_t items[] = {{socket, 0, ZMQ_POLLIN, 0}};
    zmq::poll(&items[0], 1, std::chrono::milliseconds(timeout));
}

```

```

if (items[0].revents & ZMQ_POLLIN) {
    response = receiveRequest(socket);
    return true;
} else {
    return false;
}
}

void createWorker(int id, ChildInfo &info) {
    int basePort = 5555;
    int port = basePort + id;
    std::string address = "tcp://127.0.0.1:" + std::to_string(port);

    pid_t pid = fork();
    if (pid == 0) {
        if (execl("/Users/evgenijstepanov/VSCODE/OS/os_labs/build/lab5/worker", "worker",
std::to_string(id).c_str(), address.c_str(), NULL) == -1) {
            perror("Child run error");
        }
    } else if (pid > 0) {
        info = {id, pid, address};
        std::cout << "Ok: pid: " << pid << " port: " << port << std::endl;
    } else {
        std::cout << "Error: Fork failed" << std::endl;
    }
}

bool isPidAlive(int pid) {

```

```

int status = 0;

int result = waitpid(pid, &status, WNOHANG);

if (result == 0) {
    return true;
} else {
    return false;
}
}

```

worker_node.cpp:

```
#include "../include/worker_node.h"
```

```
#include <thread>
```

```
#include <chrono>
```

```
#include <iostream>
```

```

WorkerNode::WorkerNode(int id, const std::string &address) : id(id), address(address) {
    context = zmq::context_t(1);
    socket = zmq::socket_t(context, ZMQ_REP);
    socket.bind(address);

    std::thread heartbitThread(&WorkerNode::sendHeartbit, this, 2000);
    heartbitThread.detach();
}

```

```

void WorkerNode::sendHeartbit(int time) {
    while (true) {
        zmq::pollitem_t items[] = {{socket, 0, ZMQ_POLLOUT, 0}};
        zmq::poll(&items[0], 1, std::chrono::milliseconds(time));
    }
}

```

```

    if (items[0].revents & ZMQ_POLLOUT) {
        std::string heartbitMessage = "heartbit id:" + std::to_string(id);
        zmq::message_t message(heartbitMessage.begin(), heartbitMessage.end());
        socket.send(message, zmq::send_flags::none);
        std::cout << "Worker " << id << " sent heartbit" << std::endl;
    }

    std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(time));
}

}

void WorkerNode::processCommand(const std::string &command) {
    std::vector<std::string> tokens;
    std::string token;
    std::istringstream tokenStream(command);
    while (std::getline(tokenStream, token, ' ')) {
        tokens.push_back(token);
    }

    if (tokens[0] == "exec") {
        if (tokens.size() == 3) {
            std::string key = tokens[2];
            if (localDict.find(key) != localDict.end()) {
                sendResponse(socket, "Ok:" + std::to_string(id) + ": " + std::to_string(localDict[key]));
            } else {
                sendResponse(socket, "Ok:" + std::to_string(id) + ": 'MyVar' not found");
            }
        } else if (tokens.size() == 4) {
            std::string key = tokens[2];

```

```

        int value = std::stoi(tokens[3]);

        localDict[key] = value;

        sendResponse(socket, "Ok:" + std::to_string(id));
    }
} else if (tokens[0] == "ping") {
    sendResponse(socket, "Ok");
}
}

```

```

void WorkerNode::run() {
    while (true) {
        std::string command = receiveRequest(socket);
        processCommand(command);
    }
}

```

```

WorkerNode::~WorkerNode() {
    socket.unbind(address);
}

```

main.cpp:

```

#include "include/ControllerNode.h"

```

```

int main() {
    ControllerNode controller;
    controller.start();
    return 0;
}

```

}

Демонстрация работы программы

unix@DESKTOP-MPQDBS2:~/labs/osLabs/build/lab5-7\$./lab5-7

> create 10

Ok: Node 10 created

> Node 10 started and listening on tcp://*:5565

Node 10 started

> create 20 10

Ok: Node 20 created

> Node 20 started and listening on tcp://*:5575

Node 20 started

> ping 10

Ok:1

>

> ping 20

Ok:1

> heartbit

Ok

> exec 10 3 1 2 3

Ok:10: 6

Если узел не существует, выводится сообщение:

Error: 2: Not found

Если команда неверная, выводится:

Error: Unknown command

Если узел недоступен, выводится:

Error: 1: Node is unavailable

Мониторинг **heartbit** выполняется в отдельном потоке, что позволяет контроллеру одновременно обрабатывать команды пользователя и проверять состояние узлов.

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы я изучил принципы работы с многопоточностью, сетевым взаимодействием и управлением процессами в операционной системе. Для реализации системы управления узлами использовал библиотеку **ZeroMQ** для организации сетевого взаимодействия и механизмы **fork** и **execl** для создания новых процессов. Была реализована система мониторинга состояния узлов через механизм **heartbit**, что позволило отслеживать их доступность в реальном времени.

Особенно понравилось работать с **ZeroMQ**, так как она предоставляет удобные инструменты для организации сетевого взаимодействия. Также было интересно реализовывать многопоточность для параллельной обработки команд и мониторинга. В целом, работа позволила глубже понять принципы распределенных систем и взаимодействия между процессами.