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: Степанов Н.Е.
Группа: М8О-208Б-23
Вариант: 15
Преподаватель: Миронов Е. С.

Дата: _____

Оценка: _____

Подпись: _____

Москва, 2024

Содержание

Репозиторий

https://github.com/n0w3e/os_labs/tree/lab5

Постановка задачи

Цель работы

Целью является приобретение практических навыков в:

Управлении серверами сообщений (№5)

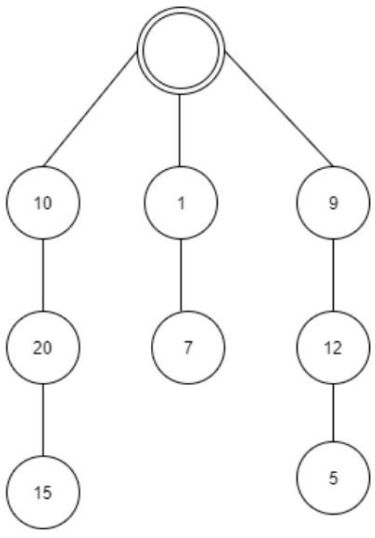
Применение отложенных вычислений (№6)

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 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.

Набора 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

Команда проверки 3

Формат команды: heartbit time

Каждый узел начинает сообщать раз в time миллисекунд о том, что он работоспособен. Если от узла нет сигнала в течении 4*time миллисекунд, то должна выводится 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 "heartbit" 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 **heartbit**. 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

controller.h:

```
#pragma once

#include "utils.h"

#include <thread>

#include <atomic>

#include <unordered_map>

#include <chrono>


class Controller {

private:

    std::map<int, ChildInfo> workers;

    std::atomic<bool> heartbitRunning;

    std::thread heartbitThread;

    std::unordered_map<int, std::chrono::time_point<std::chrono::steady_clock>> lastHeartbit;


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

    void runHeartbit(int time);
```

```
public:
    Controller() : heartbitRunning(false) {}
    void run();
};
```

utils.cpp:

```
#pragma once

#include <string>
#include <utility>
#include <vector>
#include <map>
#include <zmq.hpp>
#include <queue>
#include <utility>
#include "iostream"

inline zmq::context_t globalContext(1);

struct ChildInfo {
    int id;
    int pid;
    std::string address;
};

class WorkerNodeInfo {
public:
    int id;
    int pid;
    std::string address;
```

```
    WorkerNodeInfo *left = nullptr;
    WorkerNodeInfo *right = nullptr;
    WorkerNodeInfo *parent = nullptr;
public:
    WorkerNodeInfo(int id, int pid, std::string address) : id(id), pid(pid), address(std::move(address)) {};

    WorkerNodeInfo(int id, int pid, std::string address, WorkerNodeInfo *parent) : id(id), pid(pid),
                                                                                   address(std::move(address)),
                                                                                   parent(parent) {};

};


void sendResponse(zmq::socket_t &socket, const std::string &response);

std::string receiveRequest(zmq::socket_t &socket);

bool
sendRequestWithTimeout(zmq::socket_t &socket, const std::string &request, std::string &response, int timeout = 1000);

void createWorker(int id, ChildInfo &info);

bool isPidAlive(int pid);
```

worker_node.h:

```
#pragma once
#include <iostream>
```

```
#include <zmq.hpp>
#include <map>
#include <thread>
#include <unistd.h>
#include "utils.h"

class WorkerNode {
public:
    WorkerNode(int id, const std::string &address);
    ~WorkerNode();
    void run();

private:
    int id;
    zmq::context_t context;
    zmq::socket_t socket;
    std::string address;
    zmq::socket_t commandSocket;
    zmq::socket_t heartbitSocket;
    std::map<std::string, int> localDict;

    void processCommand(const std::string &command);
    void sendHeartbit(int time);
};
```

controller.cpp:

```
#include <iostream>
#include <zmq.hpp>
#include <map>
```

```
#include <vector>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>
#include <chrono>
#include "../include/controller.h"

void Controller::runHeartbit(int time) {
    zmq::context_t context(1);
    zmq::socket_t subscriber(context, ZMQ_SUB);
    for (const auto &worker : workers) {
        subscriber.connect(worker.second.address + "_pub");
        subscriber.set(zmq::sockopt::subscribe, "heartbit");
    }

    while (heartbitRunning) {
        auto now = std::chrono::steady_clock::now();
        for (const auto &worker : workers) {
            auto it = lastHeartbit.find(worker.first);
            if (it != lastHeartbit.end()) {
                auto elapsed = std::chrono::duration_cast<std::chrono::milliseconds>(now - it->second).count();
                if (elapsed > 4 * time) {
                    std::cout << "Heartbit: node " << worker.first << " is unavailable now" << std::endl;
                } else {
                    std::cout << "Heartbit: node " << worker.first << " is available" << std::endl;
                }
            }
        }
```

```
        zmq::message_t message;
        while (subscriber.recv(message, zmq::recv_flags::dontwait)) {
            std::string msg(static_cast<char*>(message.data()), message.size());
            if (msg.find("heartbit") != std::string::npos) {
                int id = std::stoi(msg.substr(msg.find("id:") + 3));
                lastHeartbit[id] = std::chrono::steady_clock::now();
            }
        }

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

void Controller::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] == "create") {
        int id = std::stoi(tokens[1]);
        if (id == -1) {
            std::cout << "Error: Invalid id format" << std::endl;
            return;
        }
        if (workers.find(id) != workers.end()) {
            std::cout << "Error: Already exists" << std::endl;
```

```
            return;
        }
        ChildInfo info;
        createWorker(id, info);
        workers[id] = info;
        lastHeartbit[id] = std::chrono::steady_clock::now();
    } else if (tokens[0] == "exec") {
        int id = std::stoi(tokens[1]);
        if (workers.find(id) == workers.end()) {
            std::cout << "Error:" << id << ": Not found" << std::endl;
            return;
        }
        zmq::context_t context(1);
        zmq::socket_t workerSocket(context, ZMQ_REQ);
        workerSocket.set(zmq::sockopt::linger, 0);
        workerSocket.connect(workers[id].address);

        std::string command = tokens[0] + " " + tokens[1];
        for (size_t i = 2; i < tokens.size(); ++i) {
            command += " " + tokens[i];
        }

        std::string response;
        if (sendRequestWithTimeout(workerSocket, command, response, 1000)) {
            std::cout << response << std::endl;
            lastHeartbit[id] = std::chrono::steady_clock::now();
        } else {
            std::cout << "Error:" << id << ": Node is unavailable" << std::endl;
        }
```

```
        workerSocket.close();
    } else if (tokens[0] == "heartbit") {
        int time = std::stoi(tokens[1]);
        if (heartbitRunning) {
            std::cout << "Heartbit is already running. Use 'stop' to stop it." << std::endl;
            return;
        }
        heartbitRunning = true;
        std::cout << "Ok" << std::endl;
        heartbitThread = std::thread(&Controller::runHeartbit, this, time);
    } else if (tokens[0] == "stop") {
        if (!heartbitRunning) {
            std::cout << "Heartbit is not running." << std::endl;
            return;
        }
        heartbitRunning = false;
        heartbitThread.join();
        std::cout << "Heartbit stopped." << std::endl;
    } else if (tokens[0] == "ping") {
        if (tokens.size() < 2) {
            std::cout << "Error: Missing node ID" << std::endl;
            return;
        }
        int id = std::stoi(tokens[1]);
        auto it = lastHeartbit.find(id);
        if (it != lastHeartbit.end()) {
            auto now = std::chrono::steady_clock::now();
            auto elapsed = std::chrono::duration_cast<std::chrono::milliseconds>(now - it->second).count();
```

```
            if (elapsed <= 4 * 2000) {
                std::cout << "Ok: " << id << ": 1" << std::endl;
            } else {
                std::cout << "Ok: " << id << ": 0" << std::endl;
            }
        } else {
            std::cout << "Error: Node " << id << " not found" << std::endl;
        }
    } else {
        std::cout << "Error: Unknown command" << std::endl;
    }
}

void Controller::run() {
    std::string command;
    while (true) {
        std::cout << "> ";
        std::getline(std::cin, command);
        if (command == "exit") {
            break;
        }
        processCommand(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);
}
```

worker.cpp:

```
#include <iostream>
#include "../include/worker_node.h"


int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc < 3) {
        std::cerr << "Usage: " << argv[0] << " <id> <address>" << std::endl;
        return 1;
    }
    int id = std::stoi(argv[1]);
    std::string address = argv[2];
    WorkerNode worker(id, address);
    worker.run();
    return 0;
}
```

main.cpp:

```
#include "include/controller.h"


int main() {
    auto controller = Controller();
    controller.run();
    return 0;
}
```

Демонстрация работы программы

```
n0wee@DESKTOP-8QSPN1P:~/Coding/os_labs/build/lab5$ ./controller
> create 1
Ok: pid: 12345 port: 5556
> exec 1 set MyVar 42
Ok:1
> exec 1 get MyVar
Ok:1: 42
> ping 1
Ok: 1: 1
> heartbit 2000
Ok
Heartbit: node 1 is available
Heartbit: node 1 is available
> stop
Heartbit stopped.
> exit
```

Если узел не существует, выводиться 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.