Московский Авиационный Институт
(Национальный Исследовательский Университет)
Факультет информационных технологий и прикладной математики
Кафедра вычислительной математики и программирования

Лабораторная работа №6-8 по курсу
«Операционные системы»

Студент: Боев Савелий Сергеевич
Группа: М8О-207Б-21
Вариант: 48
Преподаватель: Миронов Евгений Сергеевич
Оценка: _____
Дата: _____
Подпись: _____

Москва, 2022

Содержание

Репозиторий 3
Постановка задачи 3
Цель работы 3
Задание 3
Исходный код 4
Демонстрация работы программы 24
Выводы 25

Репозиторий

https://github.com/IamNoobLEL/Labs-OSi

Постановка задачи

Цель работы

Целью является приобретение практических навыков в:

- Управлении серверами сообщений (№6)
- Применение отложенных вычислений (№7)
- Интеграция программных систем друг с другом (№8)

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.

Вариант 48

Топология: 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.

Команда для узлов: локальный целочисленный словарь

Команда проверки: heartbeat time

Исходный код

Код программы calculation_node.cpp

```
#include "my_zmq.h"
#include <iostream>
#include <map>
#include <unistd.h>

long long node_id;

int main(int argc, char** argv) {
    std::string key;
    int val;
    std::map<std::string, int> dict;
    int rc;
    assert(argc == 2);
    node_id = std::stoll(std::string(argv[1]));

    void* node_parent_context = zmq_ctx_new();
    void* node_parent_socket = zmq_socket(node_parent_context, ZMQ_PAIR);
    rc = zmq_connect(node_parent_socket, ("tcp://localhost:" +
std::to_string(PORT_BASE + node_id)).c_str());
    assert(rc == 0);

    long long child_id = -1;
    void* node_context = nullptr;
    void* node_socket = nullptr;
    std::cout << "OK: " << getpid() << std::endl;

    bool has_child = false, awake = true, add = false;
    while (awake) {
        node_token_t token({ fail, 0, 0 });
        my_zmq::receive_msg(token, node_parent_socket);
        auto* reply = new node_token_t({ fail, node_id, node_id });
```

```
        if (token.action == bind and token.parent_id == node_id) {
            my_zmq::init_pair_socket(node_context, node_socket);
            rc = zmq_bind(node_socket, ("tcp://*:" + std::to_string(PORT_BASE +
token.id)).c_str());
            assert(rc == 0);
            has_child = true;
            child_id = token.id;
            auto* token_ping = new node_token_t({ ping, child_id, child_id });
            node_token_t reply_ping({ fail, child_id, child_id });
            if (my_zmq::send_receive_wait(token_ping, reply_ping, node_socket) and
reply_ping.action == success) {
                reply->action = success;
            }
        }


        else if (token.action == create) {
            if (token.parent_id == node_id) {
                if (has_child) {
                    rc = zmq_close(node_socket);
                    assert(rc == 0);
                    rc = zmq_ctx_term(node_context);
                    assert(rc == 0);
                }
                my_zmq::init_pair_socket(node_context, node_socket);
                rc = zmq_bind(node_socket, ("tcp://*:" + std::to_string(PORT_BASE +
token.id)).c_str());
                assert(rc == 0);
                int fork_id = fork();
                if (fork_id == 0) {
                    rc = execl(NODE_EXECUTABLE_NAME,
NODE_EXECUTABLE_NAME, std::to_string(token.id).c_str(), nullptr);
                    assert(rc != -1);
                    return 0;
                }
```

```
            else {
                bool ok = true;
                if (has_child) {
                    auto* token_bind = new node_token_t({ bind, token.id, child_id });
                    node_token_t reply_bind({ fail, token.id, token.id });
                    ok = my_zmq::send_receive_wait(token_bind, reply_bind, node_socket);
                    ok = ok and (reply_bind.action == success);
                }
                if (ok) {
                    auto* token_ping = new node_token_t({ ping, token.id, token.id });
                    node_token_t reply_ping({ fail, token.id, token.id });
                    ok = my_zmq::send_receive_wait(token_ping, reply_ping, node_socket);
                    ok = ok and (reply_ping.action == success);
                    if (ok) {
                        reply->action = success;
                        child_id = token.id;
                        has_child = true;
                    }
                    else {
                        rc = zmq_close(node_socket);
                        assert(rc == 0);
                        rc = zmq_ctx_term(node_context);
                        assert(rc == 0);
                    }
                }
            }
            else if (has_child) {
                auto* token_down = new node_token_t(token);
                node_token_t reply_down(token);
                reply_down.action = fail;
                if (my_zmq::send_receive_wait(token_down, reply_down, node_socket) and
reply_down.action == success) {
                    *reply = reply_down;
                }
```

```
        }
    }


    else if (token.action == ping) {
        if (token.id == node_id) {
            reply->action = success;
        }
        else if (has_child) {
            auto* token_down = new node_token_t(token);
            node_token_t reply_down(token);
            reply_down.action = fail;
            if (my_zmq::send_receive_wait(token_down, reply_down, node_socket) and
reply_down.action == success) {
                *reply = reply_down;
            }
        }
    }


    else if (token.action == destroy) {
        if (has_child) {
            if (token.id == child_id) {
                bool ok;
                auto* token_down = new node_token_t({ destroy, node_id, child_id });
                node_token_t reply_down = { fail, child_id, child_id };
                ok = my_zmq::send_receive_wait(token_down, reply_down, node_socket);
                if (reply_down.action == destroy) {
                    rc = zmq_close(node_socket);
                    assert(rc == 0);
                    rc = zmq_ctx_destroy(node_context);
                    assert(rc == 0);
                    has_child = false;
                    child_id = -1;
                }
```

```
                else if (reply_down.action == bind) {
                    rc = zmq_close(node_socket);
                    assert(rc == 0);
                    rc = zmq_ctx_destroy(node_context);
                    assert(rc == 0);
                    my_zmq::init_pair_socket(node_context, node_socket);
                    rc = zmq_bind(node_socket, ("tcp://*:" + std::to_string(PORT_BASE +
reply_down.id)).c_str());
                    assert(rc == 0);
                    child_id = reply_down.id;
                    auto* token_ping = new node_token_t({ ping, child_id, child_id });
                    node_token_t reply_ping({ fail, child_id, child_id });
                    ok = my_zmq::send_receive_wait(token_ping, reply_ping, node_socket)
and (reply_ping.action == success);
                }
                if (ok) {
                    reply->action = success;
                }
            }
            else if (token.id == node_id) {
                rc = zmq_close(node_socket);
                assert(rc == 0);
                rc = zmq_ctx_destroy(node_context);
                assert(rc == 0);
                awake = false;
                reply->action = bind;
                reply->id = child_id;
                reply->parent_id = token.parent_id;
            }
            else {
                auto* token_down = new node_token_t(token);
                node_token_t reply_down = token;
                reply_down.action = fail;
                if (my_zmq::send_receive_wait(token_down, reply_down, node_socket) and
(reply_down.action == success)) {
```

```
                *reply = reply_down;
            }
        }
    }
    else if (token.id == node_id) {
        reply->action = destroy;
        awake = false;
    }
}


else if (token.action == exec_check) {
    if (token.id == node_id) {
        char c = token.parent_id;
        if (c == SENTINEL) {
            if (dict.find(key) != dict.end()) {
                std::cout << "OK:" << node_id << ":" << dict[key] << std::endl;
            }
            else {
                std::cout << "OK:" << node_id << ":'" << key << "' not found" <<
std::endl;
            }
            reply->action = success;
            key = "";
        }
        else {
            key += c;
            reply->action = success;
        }
    }
    else if (has_child) {
        auto* token_down = new node_token_t(token);
        node_token_t reply_down(token);
        reply_down.action = fail;
```

```
            if (my_zmq::send_receive_wait(token_down, reply_down, node_socket) and
reply_down.action == success) {
                *reply = reply_down;
            }
        }
    }


    else if (token.action == exec_add) {
        if (token.id == node_id) {
            char c = token.parent_id;
            if (c == SENTINEL) {
                add = true;
                reply->action = success;
            }
            else if (add) {
                val = token.parent_id;
                dict[key] = val;
                std::cout << "OK:" << node_id << std::endl;
                add = false;
                key = "";
                reply->action = success;
            }
            else {
                key += c;
                reply->action = success;
            }
        }
        else if (has_child) {
            auto* token_down = new node_token_t(token);
            node_token_t reply_down(token);
            reply_down.action = fail;
            if (my_zmq::send_receive_wait(token_down, reply_down, node_socket) and
reply_down.action == success) {
                *reply = reply_down;
```

```
            }
        }
    }
    my_zmq::send_msg_no_wait(reply, node_parent_socket);
  }
  rc = zmq_close(node_parent_socket);
  assert(rc == 0);
  rc = zmq_ctx_destroy(node_parent_context);
  assert(rc == 0);
}
```

Код программы control_node.cpp

```
#include <unistd.h>
#include <vector>
#include <thread>
#include <chrono>
#include <algorithm>
#include <zmq.hpp>
#include "my_zmq.h"
#include "topology.h"

std::vector<long long> ping_storage(0);
topology_t<long long> control_node;
std::vector<std::pair<void*, void*>> children;// [context, socket]

void pinger(int wait) {
  while (true) {
    for (size_t i = 0; i < ping_storage.size();i++) {
      int value = ping_storage[i];
      int ind = control_node.find(value);
      auto* token = new node_token_t({ ping, value, value });
      node_token_t reply({ fail, value, value });
      if (ind != -1 and my_zmq::send_receive_wait(token, reply, children[ind].second)
and reply.action == success) {
        std::cout << "OK" << std::endl;
```

```
                continue;
            }
            else {
                std::cout << "Heartbit: node " << value << " is unavailable now" << std::endl;
                auto iterator = std::find(ping_storage.begin(), ping_storage.end(), value);
                if (iterator != ping_storage.end()) {
                    ping_storage.erase(iterator);
                }
                break;
            }
        }
        std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(wait));
    }
}

void delete_control_node(long long id) {
    int ind = control_node.find(id);
    int rc;
    bool ok;
    if (ind != -1) {
        auto* token = new node_token_t({ destroy, id, id });
        node_token_t reply({ fail, id, id });
        ok = my_zmq::send_receive_wait(token, reply, children[ind].second);
        if (reply.action == destroy and reply.parent_id == id) {
            rc = zmq_close(children[ind].second);
            assert(rc == 0);
            rc = zmq_ctx_destroy(children[ind].first);
            assert(rc == 0);
            auto it = children.begin();
            while (ind--) {
                ++it;
            }
            children.erase(it);
        }
        else if (reply.action == bind and reply.parent_id == id) {
```

```
            rc = zmq_close(children[ind].second);
            assert(rc == 0);
            rc = zmq_ctx_term(children[ind].first);
            assert(rc == 0);
            my_zmq::init_pair_socket(children[ind].first, children[ind].second);
            rc = zmq_bind(children[ind].second, ("tcp://*:" + std::to_string(PORT_BASE +
id)).c_str());
            assert(rc == 0);
        }
        if (ok) {
            control_node.erase(id);
            std::cout << "OK: " << id << std::endl;
        }
        else {
            std::cout << "Error: Node " << id << " is unavailable" << std::endl;
        }
    }
    else {
        std::cout << "Error: Not found" << std::endl;
    }
}

int main() {
    int rc;
    bool ok;
    std::string s;
    std::thread new_thread;
    long long id;
    std::cout << "Create id parent: create calculation node (use parent = -1 if parent is
control node)" << std::endl;
    std::cout << "Heartbeat milliseconds: ping calculation node with id $id" << std::endl;
    std::cout << "Remove id: delete calculation node with id " << std::endl;
    std::cout << "Exec id key val: add [key, val] add local dictionary" << std::endl;
    std::cout << "Exec id key: check local dictionary" << std::endl;
    while (std::cin >> s >> id) {
```

```
        if (s == "create") {
            long long parent_id;
            std::cin >> parent_id;
            int ind;
            if (parent_id == -1) {
                void* new_context = nullptr;
                void* new_socket = nullptr;
                my_zmq::init_pair_socket(new_context, new_socket);
                rc = zmq_bind(new_socket, ("tcp://*:" + std::to_string(PORT_BASE +
id)).c_str());
                assert(rc == 0);

                int fork_id = fork();
                if (fork_id == 0) {
                    rc = execl(NODE_EXECUTABLE_NAME,
NODE_EXECUTABLE_NAME, std::to_string(id).c_str(), nullptr);
                    assert(rc != -1);
                    return 0;
                }
                else {
                    auto* token = new node_token_t({ ping, id, id });
                    node_token_t reply({ fail, id, id });
                    if (my_zmq::send_receive_wait(token, reply, new_socket) and reply.action
== success) {//проверка создания нового сокета(выч ноды)
                        children.emplace_back(std::make_pair(new_context,
new_socket));//добавляем в вектор новый сокет ребёнка тип н дентей у контрол
ноды
                        control_node.insert(id);//вставляем ид в топологию
                    }
                    else {
                        rc = zmq_close(new_socket);
                        assert(rc == 0);
                        rc = zmq_ctx_destroy(new_context);
                        assert(rc == 0);
                    }
```

```
            }
            ping_storage.push_back(id);
        }
        else if ((ind = control_node.find(parent_id)) == -1) {
            std::cout << "Error: Not found" << std::endl;
            continue;
        }
        else {
            if (control_node.find(id) != -1) {
                std::cout << "Error: Already exists" << std::endl;
                continue;
            }
            auto* token = new node_token_t({ create, parent_id, id });
            node_token_t reply({ fail, id, id });
            if (my_zmq::send_receive_wait(token, reply, children[ind].second) and
reply.action == success) {
                control_node.insert(parent_id, id);
                ping_storage.push_back(id);
            }
            else {
                std::cout << "Error: Parent is unavailable" << std::endl;
                continue;
            }
        }
    }


    else if (s == "remove") {
        delete_control_node(id);
    }


    else if (s == "heartbeat") {
        if (ping_storage.empty()) {
            std::cout << "Error: there are no calculation nodes at all" << std::endl;
```

```
            continue;
        }
        new_thread = std::thread(pinger, id);
    }


    else if (s == "exec") {
        ok = true;
        std::string key;
        char c;
        int val = -1;
        bool add = false;
        std::cin >> key;
        if ((c = getchar()) == ' ') {
            add = true;
            std::cin >> val;
        }
        int ind = control_node.find(id);
        if (ind == -1) {
            std::cout << "Error: Not found" << std::endl;
            continue;
        }
        key += SENTINEL;
        if (add) {
            for (auto i : key) {
                auto* token = new node_token_t({ exec_add, i, id });
                node_token_t reply({ fail, id, id });
                if (!my_zmq::send_receive_wait(token, reply, children[ind].second) or
reply.action != success) {
                    std::cout << "Fail: " << i << std::endl;
                    ok = false;
                    break;
                }
            }
            auto* token = new node_token_t({ exec_add, val, id });
```

```
            node_token_t reply({ fail, id, id });
            if (!my_zmq::send_receive_wait(token, reply, children[ind].second) or
reply.action != success) {
                std::cout << "Fail: " << val << std::endl;
                ok = false;
            }
        }
        else {
            for (auto i : key) {
                auto* token = new node_token_t({ exec_check, i, id });
                node_token_t reply({ fail, i, id });
                if (!my_zmq::send_receive_wait(token, reply, children[ind].second) or
reply.action != success) {
                    ok = false;
                    std::cout << "Fail: " << i << std::endl;
                    break;
                }
            }
        }
        if (!ok) {
            std::cout << "Error: Node is unavailable" << std::endl;
        }
    }
  }
  new_thread.detach();
  return 0;
}
```

Заголовочный файл topology.h

```
#ifndef INC_6_8_LAB__TOPOLOGY_H_
#define INC_6_8_LAB__TOPOLOGY_H_

#include <iostream>
#include <list>
#include <map>
```

```
template<typename T>
class topology_t {
 public:
  using list_type = std::list<std::list<T>>;
  using iterator = typename std::list<T>::iterator;
  using list_iterator = typename list_type::iterator;

  list_type container;
  size_t container_size;
  topology_t() : container(), container_size(0){};
  ~topology_t() = default;

  void insert(const T &elem) {
                                  std::list<T> new_list;
                                  new_list.emplace_back(elem);
                                  ++container_size;
                                  container.emplace_back(new_list);
  }

  bool insert(const T &parent, const T &elem) {
                                  for (list_iterator external_it = container.begin(); external_it
!= container.end(); ++external_it) {
                                    for (iterator internal_it = external_it->begin(); internal_it
!= external_it->end(); ++internal_it) {
                                          if (*internal_it == parent) {
                                           external_it->insert(++internal_it, elem);
                                           ++container_size;
                                           return true;
                                          }
                                    }
                                  }
                                  return false;
  }
```

```
 bool erase(const T &elem) {
                                for (list_iterator external_it = container.begin(); external_it
!= container.end(); ++external_it) {
                                  for (iterator internal_it = external_it->begin(); internal_it
!= external_it->end(); ++internal_it) {
                                        if (*internal_it == elem) {
                                         if (external_it->size() > 1) {
                                                external_it->erase(internal_it);
                                         } else {
                                                container.erase(external_it);
                                         }
                                         --container_size;
                                         return true;
                                        }
                                  }
                                }
                                return false;
 }

 size_t size() {
                                return container_size;
 }
 int find(const T &elem) {// в каком списке существует (или нет) элемент с
идентификатором $id
                                int ind = 0;
                                for (auto &external : container) {
                                 for (auto &internal : external) {
                                        if (internal == elem) {
                                         return ind;
                                        }
                                 }
                                 ++ind;
                                }
                                return -1;
 }
```

```
 template<typename S>
 friend std::ostream &operator<<(std::ostream &os, const topology_t<S> &topology) {
                                for (auto &external : topology.container) {
                                 os << "{";
                                 for (auto &internal : external) {
                                        os << internal << " ";
                                 }
                                 os << "}" << std::endl;
                                }
                                return os;
 }
};

#endif//INC_6_8_LAB__TOPOLOGY_H_
```

Заголовочный файл my_zmq.h

```
#ifndef INC_6_8_LAB__ZMQ_H_
#define INC_6_8_LAB__ZMQ_H_

#include <cassert>
#include <cerrno>
#include <cstring>
#include <string>
#include <zmq.hpp>
#include <random>

enum actions_t {
                                fail = 0,
                                success = 1,
                                create = 2,
                                destroy = 3,
                                bind = 4,
                                ping = 5,
                                exec_check = 6,
                                exec_add = 7
```

```
};

const char *NODE_EXECUTABLE_NAME = "calculation_node";
const int PORT_BASE = 8000;
const int WAIT_TIME = 1000;
const char SENTINEL = '$';
struct node_token_t {
                                actions_t action;
                                long long parent_id, id;
};

namespace my_zmq {
                                void init_pair_socket(void *&context, void *&socket) {
                                        int rc;
                                        context = zmq_ctx_new();
                                        socket = zmq_socket(context, ZMQ_PAIR);
                                        rc = zmq_setsockopt(socket, ZMQ_RCVTIMEO,
&WAIT_TIME, sizeof(int));
                                        assert(rc == 0);
                                        rc = zmq_setsockopt(socket, ZMQ_SNDTIMEO,
&WAIT_TIME, sizeof(int));
                                        assert(rc == 0);
                                }

                                template<typename T>
                                void receive_msg(T &reply_data, void *socket) {
                                        int rc = 0;
                                        zmq_msg_t reply;
                                        zmq_msg_init(&reply);
                                        rc = zmq_msg_recv(&reply, socket, 0);
                                        assert(rc == sizeof(T));
                                        reply_data = *(T *)zmq_msg_data(&reply);
                                        rc = zmq_msg_close(&reply);
                                        assert(rc == 0);
                                }
```

```
template<typename T>
bool receive_msg_wait(T &reply_data, void *socket) {
	int rc = 0;
	zmq_msg_t reply;
	zmq_msg_init(&reply);
	rc = zmq_msg_recv(&reply, socket, 0);
	if (rc == -1) {
		zmq_msg_close(&reply);
		return false;
	}
	assert(rc == sizeof(T));
	reply_data = *(T *)zmq_msg_data(&reply);
	rc = zmq_msg_close(&reply);
	assert(rc == 0);
	return true;
}

template<typename T>
void send_msg(T *token, void *socket) {
	int rc = 0;
	zmq_msg_t message;
	zmq_msg_init(&message);
	rc = zmq_msg_init_size(&message, sizeof(T));
	assert(rc == 0);
	rc = zmq_msg_init_data(&message, token,
sizeof(T), NULL, NULL);
	assert(rc == 0);
	rc = zmq_msg_send(&message, socket, 0);
	assert(rc == sizeof(T));
}

template<typename T>
bool send_msg_no_wait(T *token, void *socket) {
	int rc;
```

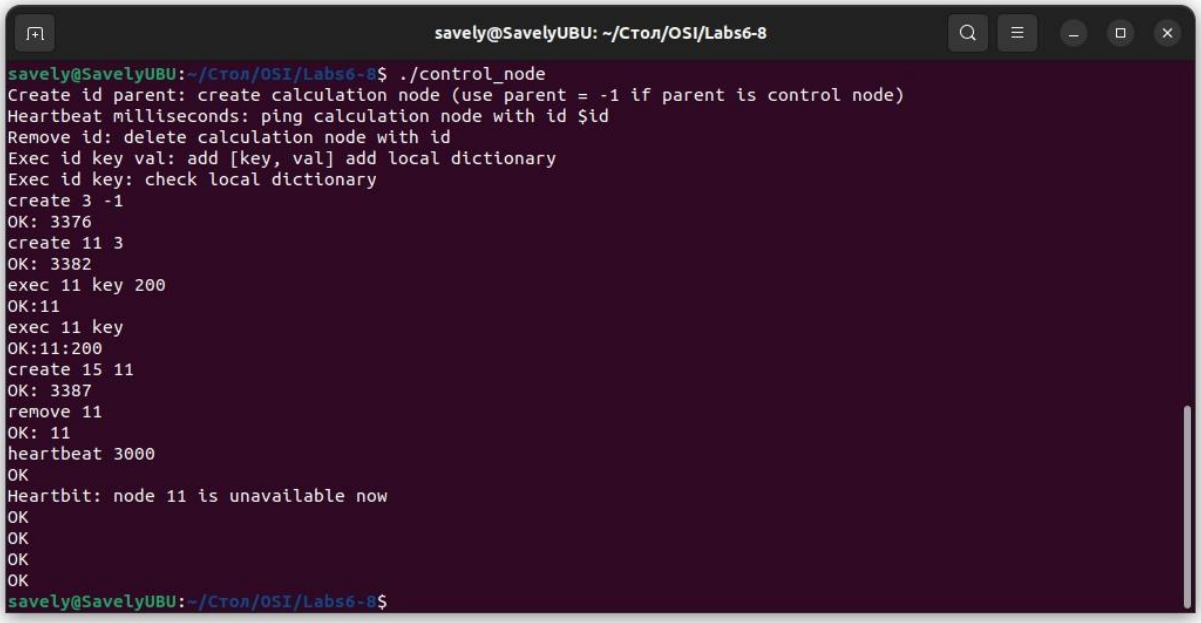
```
                zmq_msg_t message;
                zmq_msg_init(&message);
                rc = zmq_msg_init_size(&message, sizeof(T));
                assert(rc == 0);
                rc = zmq_msg_init_data(&message, token,
sizeof(T), NULL, NULL);
                assert(rc == 0);
                rc = zmq_msg_send(&message, socket,
ZMQ_DONTWAIT);
                if (rc == -1) {
                        zmq_msg_close(&message);
                        return false;
                }
                assert(rc == sizeof(T));
                return true;
        }
        /* Returns true if T was successfully queued on the socket
*/

        template<typename T>
        bool send_msg_wait(T *token, void *socket) {
                int rc;
                zmq_msg_t message;
                zmq_msg_init(&message);
                rc = zmq_msg_init_size(&message, sizeof(T));
                assert(rc == 0);
                rc = zmq_msg_init_data(&message, token,
sizeof(T), NULL, NULL);
                assert(rc == 0);
                rc = zmq_msg_send(&message, socket, 0);
                if (rc == -1) {
                        zmq_msg_close(&message);
                        return false;
                }
                assert(rc == sizeof(T));
```

```
            return true;
        }

        /* send_msg && receive_msg */
        template<typename T>
        bool send_receive_wait(T *token_send, T &token_reply,
void *socket) {
            if (send_msg_wait(token_send, socket)) {
                if (receive_msg_wait(token_reply, socket)) {
                    return true;
                }
            }
            return false;
        }
}// namespace my_zmq
#endif//INC_6_8_LAB__ZMQ_H_
```

Демонстрация работы программы



Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы я приобрел практические навыки в управлении серверами сообщений, применении отложенных вычислений и интеграции программных систем друг с другом, а также познакомился с технологией очереди сообщений, реализованной в библиотеке ZeroMQ. Эта технология позволяет удобным образом реализовывать межпроцессорное взаимодействие.