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

Лабораторная работа №3 по курсу
«Операционные системы»

Студент: Останина Анна Андреевна
Группа: М8О-208Б-22
Вариант: 9
Преподаватель: Миронов Евгений Сергеевич
Оценка: _____
Дата: _____
Подпись: _____

Москва, 2024

Содержание

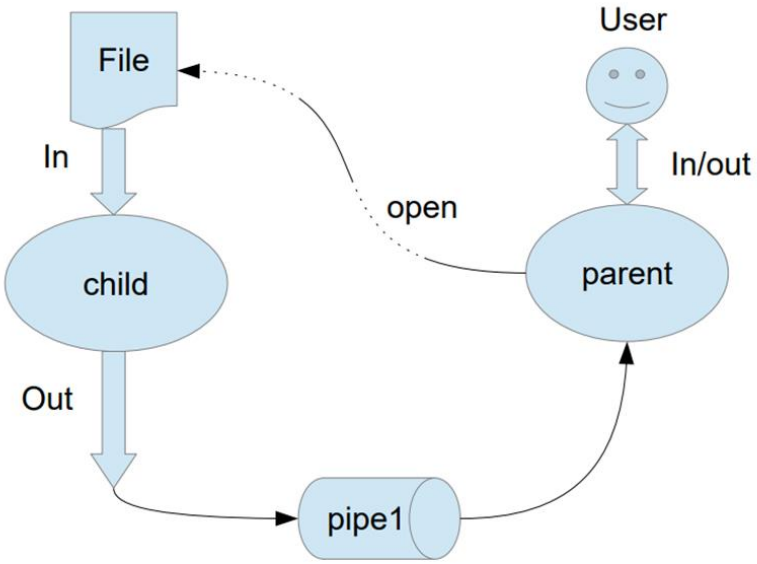
Репозиторий

https://github.com/Imariiii/os_labs

Цель работы

Освоение принципов работы с файловыми системами и обеспечение обмена данных между процессами посредством технологии «File mapping»

Задание



Составить и отладить программу на языке Си, осуществляющую работу с процессами и взаимодействие между ними в одной из двух операционных систем. В результате работы программа (основной процесс) должен создать для решение задачи один или несколько дочерних процессов. Взаимодействие между процессами осуществляется через системные сигналы/события и/или через отображаемые файлы (memory-mapped files).

9 вариант) В файле записаны команды вида:«число число число». Дочерний процесс производит деление первого числа команда, на последующие числа в команде, а результат выводит в стандартный поток вывода. Если происходит деление на 0, то тогда дочерний и родительский процесс завершают свою работу. Проверка деления на 0 должна осуществляться на стороне дочернего процесса. Числа имеют тип float. Количество чисел может быть произвольным.

Описание работы программы

В программе работы были использованы следующие системные вызовы:

- sem_unlink() - удаление именного семафора
- shm_unlink() - удаление именованного сегмента разделяемой памяти
- shm_open() - создание или открытие объекта разделяемой памяти
- ftruncate() - установка размера разделяемой памяти
- mmap() - отображение файлов в адресное пространство процесса
- sem_open() - создание или открытие именованных семафоров
- fork() - создание нового процесса
- sem_post() - увеличение значения(разблокировка) семафора
- sem_wait() - уменьшение значения(блокировка) семафора
- sem_close() - закрытие именованного семафора
- munmap() - отключение отображения объекта в адресное пространство процесса

Исходный код

lab3.h
```
#pragma once

#include <cstdio>
#include <iostream>

#define FILTER_LEN (11U)
#define MODE (0644U)

int ParentRoutine(const char* pathToChild, std::istream& streamIn,
std::ostream& streamOut);
```

lab3.cpp
```
#include "lab3.h"

#include <fcntl.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/wait.h>
#include <unistd.h>

#include <cmath>
#include <cstdlib>
#include <iostream>

#include "shared_memory.h"
#include "utils.h"

int ParentRoutine(const char* pathToChild, std::istream& streamIn,
                  std::ostream& streamOut) {
    std::string filename;
    streamIn >> filename;
```

```
    int file = open(filename.c_str(), O_RDONLY);
    if (file == -1) {
        perror("open");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    SharedMemory<Slot> shm(SHARED_MEMORY_NAME);

    pid_t pid = fork();
    if (pid == -1) {
        perror("fork");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    if (pid > 0) {  // parent
        close(file);
        while (shm.readLock() && !shm.getData()->isEmpty) {
            float res = shm.getData()->num;
            if (std::isinf(res)) {
                streamOut << "Division by zero\n";
                return -1;
            }
            streamOut << res << '\n';
            shm.writeUnlock();
        }
        wait(nullptr);
    } else {  // child
        dup2(file, STDIN_FILENO);
        close(file);
        execl(pathToChild, "child", NULL);
        perror("exec");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    return 0;
}
```

shared_memory.h

```
#pragma once
#include <fcntl.h>
#include <semaphore.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>

#include <string>
#include <string_view>

template <class T>
class WeakSharedMemory {
   public:
    enum {
        C_READ_ONLY = O_RDONLY,
        C_READ_WRITE = O_RDWR,
    } CREATE_MODE;

    enum {
        A_READ = PROT_READ,
        A_WRITE = PROT_WRITE,
    } ATTACH_MODE;
    WeakSharedMemory() : _size{0} {}
    WeakSharedMemory(std::string_view name)

        : _name(name), _size(sizeof(T)) {
        construct(_name, _size);
```

```
    }
    ~WeakSharedMemory();
    WeakSharedMemory(const WeakSharedMemory<T>& other) = delete;
    WeakSharedMemory(WeakSharedMemory<T>&& other) noexcept;
    WeakSharedMemory<T>& operator=(WeakSharedMemory<T>&& other) noexcept;
    bool writeLock(bool timed = false);
    void writeUnlock();
    bool readLock(bool timed = false);
    void readUnlock();
    int getFD() const { return _FD; }
    T* getData() { return static_cast<T*>(_ptr); };
    const T* getData() const { return static_cast<const T*>(_ptr); }
    const std::string& getName() const { return _name; }
    bool isEmpty() const { return _size == 0; }

  private:
    std::string _name;
    int _FD;
    sem_t* _wSemPtr;
    sem_t* _rSemPtr;
    size_t _size;
    void* _ptr;
    void construct(std::string& name, std::size_t size);
    WeakSharedMemory<T>& operator=(const WeakSharedMemory<T>& other) =
default;
};

template <class T>
class SharedMemory : public WeakSharedMemory<T> {
  public:
    using WeakSharedMemory<T>::WeakSharedMemory;
    ~SharedMemory();
};


shared_memory.cpp
#include "shared_memory.h"

#include <sys/mman.h>
#include <unistd.h>

#include <cerrno>
#include <cstdio>
#include <cstdlib>
#include <cstring>
#include <iostream>

#include "utils.h"

template <class T>
void WeakSharedMemory<T>::construct(std::string& name, std::size_t size) {
    _wSemPtr = sem_open((name + "W").c_str(), O_CREAT, S_IRUSR | S_IWUSR, 1);
    _rSemPtr = sem_open((name + "R").c_str(), O_CREAT, S_IRUSR | S_IWUSR, 0);
    _FD = shm_open(name.c_str(), O_CREAT | O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);
    if (_FD < 0) {
        switch (errno) {
            case EACCES:
                throw std::runtime_error("Permission Exception");
                break;
            case EINVAL:
                throw std::runtime_error("Invalid shared memory name
passed");
                break;
```

```
            case EMFILE:
                throw std::runtime_error(
                    "The process already has the maximum number of files "
                    "open");
                break;
            case ENAMETOOLONG:
                throw std::runtime_error("The length of name exceeds
PATH_MAX");
                break;
            case ENFILE:
                throw std::runtime_error(
                    "The limit on the total number of files open on the "
                    "system "
                    "has been reached");
                break;
            default:
                throw std::runtime_error(
                    "Invalid exception occurred in shared memory creation");
                break;
        }
    }
    ftruncate(_FD, size);
    _ptr = mmap(nullptr, size, O_RDWR, MAP_SHARED, _FD, 0);
    if (_ptr == nullptr) {
        throw std::runtime_error(
            "Exception in attaching the shared memory region");
    }
}

static bool SemTimedWait(sem_t* sem) {
    struct timespec absoluteTime;
    if (clock_gettime(CLOCK_REALTIME, &absoluteTime) == -1) {
        return false;
    }
    absoluteTime.tv_sec += 5;
    return sem_timedwait(sem, &absoluteTime) == 0;
}

template <class T>
bool WeakSharedMemory<T>::writeLock(bool timed) {
    if (timed) return SemTimedWait(_wSemPtr);
    sem_wait(_wSemPtr);
    return true;
}
template <class T>
void WeakSharedMemory<T>::writeUnlock() {
    sem_post(_wSemPtr);
}

template <class T>
bool WeakSharedMemory<T>::readLock(bool timed) {
    if (timed) return SemTimedWait(_rSemPtr);
    sem_wait(_rSemPtr);
    return true;
}

template <class T>
void WeakSharedMemory<T>::readUnlock() {
    sem_post(_rSemPtr);
}

template <class T>
WeakSharedMemory<T>::~WeakSharedMemory() {
```

```
    if (sem_close(_rSemPtr) < 0) {
        std::perror("sem_close");
        std::abort();
    }
    if (sem_close(_wSemPtr) < 0) {
        std::perror("sem_close");
        std::abort();
    }
    if (munmap(_ptr, _size) < 0) {
        std::perror("munmap");
        std::abort();
    }
}

template <class T>
SharedMemory<T>::~SharedMemory() {
    if (this->isEmpty()) {
        return;
    }
    if (shm_unlink(this->getName().c_str()) < 0) {
        std::perror("shm_unlink");
        std::abort();
    }
    if (sem_unlink((this->getName() + "W").c_str()) < 0) {
        std::perror("sem_unlink");
        std::abort();
    }
    if (sem_unlink((this->getName() + "R").c_str()) < 0) {
        std::perror("sem_unlink");
        std::abort();
    }
}

template <class T>
WeakSharedMemory<T>::WeakSharedMemory(WeakSharedMemory<T>&& other) noexcept {
    other = *this;
    _size = 0;
}

template <class T>
WeakSharedMemory<T>& WeakSharedMemory<T>::operator=(
    WeakSharedMemory<T>&& other) noexcept {
    other = *this;
    _size = 0;
    return *this;
}

template class WeakSharedMemory<Slot>;
template class SharedMemory<Slot>;

child.cpp
#include <unistd.h>

#include <iostream>
#include <sstream>
#include <string>

#include "shared_memory.h"
#include "utils.h"

int main() {
    std::string line;
    WeakSharedMemory<Slot> shm(SHARED_MEMORY_NAME);
```

```
    while (std::getline(std::cin, line)) {
        std::istringstream iss(line);
        float dividend;
        if (!(iss >> dividend)) {
            dividend = 0;
        }
        float divisor;
        while (iss >> divisor) {
            dividend /= divisor;
            if (divisor == 0) {
                shm.writeLock();
                shm.getData()->isEmpty = false;
                shm.getData()->num = dividend;
                shm.readUnlock();
                return -1;
            }
        }
        shm.writeLock();
        shm.getData()->isEmpty = false;
        shm.getData()->num = dividend;
        shm.readUnlock();
    }
    shm.writeLock();
    shm.getData()->isEmpty = true;
    shm.readUnlock();
    return 0;
}
```

utils.h

```
#pragma once

#include <semaphore.h>

#include <cstddef>
#include <stdexcept>

inline constexpr int MAP_SIZE = sizeof(bool) + sizeof(float);
inline constexpr const char* SHARED_MEMORY_NAME = "shared_memory";

struct Slot {
    bool isEmpty;
    float num;
};
```

main.cpp

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>

#include "lab3.h"

int main() {
    const char *childPath = getenv("PATH_TO_CHILD");
    if (!childPath) {
        std::cerr << "Set environment variable PATH_TO_CHILD\n";
        std::exit(EXIT_FAILURE);
    }
    return ParentRoutine(childPath, std::cin, std::cout);
}
```

lab3_test.cpp

```
#include "lab3.h"

#include <gtest/gtest.h>
```

```cpp
#include <array>
#include <filesystem>
#include <fstream>
#include <iostream>
#include <memory>

namespace fs = std::filesystem;

TEST(FirstLabTests, SimpleTest) {
    const char *childPath = getenv("PATH_TO_CHILD");
    ASSERT_TRUE(childPath);

    const std::string filenameInput = "in.txt";
    const std::string filenameTest = "test.txt";
    const std::string filenameOutput = "out.txt";

    constexpr int testSize = 5;
    constexpr int outputSize = testSize;

    const std::array<std::string, outputSize> testLines = {
        "10 1",
        "100 10",
        "",
        "1 9 9",
        "100 3 4 6",
    };

    const std::array<std::string, outputSize> expectedOutputLines = {
        "10",
        "10",
        "0",
        "0.0123457",
        "1.38889",
    };

    {
        auto input = std::ofstream(filenameInput);
        input << filenameTest << '\n';
        auto test = std::ofstream(filenameTest);
        for (const auto &line : testLines) {
            test << line << '\n';
        }
    }
    {
        auto input = std::ifstream(filenameInput);
        auto output = std::ofstream(filenameOutput);

        ParentRoutine(childPath, input, output);
    }
    auto output = std::ifstream(filenameOutput);

    std::string result;
    for (const std::string &line : expectedOutputLines) {
        std::getline(output, result);
        EXPECT_EQ(result, line);
    }

    auto removeIfExists = [](const std::string &path) {
        if (fs::exists(path)) {
            fs::remove(path);
        }
    };
```

```
    removeIfExists(filenameInput);
    removeIfExists(filenameTest);
    removeIfExists(filenameOutput);
}
```

Консоль

```
anna@anna-virtual-machine:~/labs_3sem/os_labs/build/lab3$
PATH_TO_CHILD=../lab3/child_lab3 ./lab3
lab3.txt
25
2
11
1
3
Division by zero
```

Запуск тестов

```
anna@anna-virtual-machine:~/labs_3sem/os_labs/build/tests$
PATH_TO_CHILD=../lab3/child_lab3 ./lab3_test
Running main() from /home/anna/labs_3sem/os_labs/build/_deps/googletest-
src/googletest/src/gtest_main.cc
[==========] Running 1 test from 1 test suite.
[----------] Global test environment set-up.
[----------] 1 test from FirstLabTests
[ RUN      ] FirstLabTests.SimpleTest
[       OK ] FirstLabTests.SimpleTest (9 ms)
[----------] 1 test from FirstLabTests (9 ms total)

[----------] Global test environment tear-down
[==========] 1 test from 1 test suite ran. (9 ms total)
[  PASSED  ] 1 test.
```

Выводы

В ходе выполнения данной лабораторной работы я изучила принципы работы с файловыми системами и технологию обмена данными между процессами с использованием файловых отображений в память. Я познакомилась с системными вызовами, такими как open, mmap, munmap, shm_open, ftruncate, sem_open, sem_wait, sem_post. Также изучила работу с семафорами для обеспечения синхронизации доступа к общим ресурсам. При этом я узнала о понятиях таблицы страниц, page hit и page fault, которые играют важную роль при работе с общими сегментами памяти.