Московский Авиационный Институт

(Национальный Исследовательский Университет)

Институт №8 “Компьютерные науки и прикладная математика”

Кафедра №806 “Вычислительная математика и программирование”

Лабораторная работа №2 по курсу

«Операционные системы»

Группа: М8О-213Б-23

Студент: Гуляев А.П.

Преподаватель: Бахарев В.Д.

Оценка: _____

Дата: 7.11.24

Москва, 2024

Постановка задачи

Вариант 2.

Отсортировать массив целых чисел при помощи параллельного алгоритма быстрой сортировки.

Общий метод и алгоритм решения

Использованные системные вызовы:

- pid_t fork(void); – создание дочернего процесса
- pid_t wait(int) - ожидание завершения дочерних процессов
- key_t ftok (const char *, int) – создание ключа System V IPC
- int shmget(key_t, size_t, int) – получение дескриптора (создание) разделяемого сегмента памяти
- void *shmatt(int, const void*, int) – внесение разделяемого сегмента памяти в пространство имен процесса
- int shmdt(const void*) - удаленеи разделяемого сегмента памяти из пространства имен процесса
- int shmctl(int, int, struct shmid_ds *) - удаление разделяемого сегмента памяти
- int pthread_create(pthread_t, const pthread_attr_t *, void *, void *) - создание потока
- int pthread_join(pthread_t, void **) - ожидание завершения потока
- int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *) - блокировка мьютекса
- int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *) - разблокировка мьютекса
- extern void *mmap(void *, size_t, int, int, int, off_t) - отражает файлы или устройства в памяти
- extern int munmap(void *, size_t) – снимает отражение

Описание работы программы:

1. **Инициализация и обработка аргументов командной строки**:
   - Программа ожидает один аргумент командной строки — максимальное количество параллельных процессов (потоков).
   - Если аргумент не передан, программа выводит сообщение об ошибке и завершает работу.
2. **Открытие файла и чтение данных**:
   - Открывается файл `test.bin` который отражается в оперативную память .
3. **Рекурсивная сортировка с поддержкой многопоточности**:

- Создание первого потока с функцией `qsort_thread` начинает сортировку массива.
- Внутри функции `my_qsort` для части массива выбирается опорный элемент `seed`.
- Затем массив разделяется на две части: элементы, меньшие `seed`, и элементы, большие или равные `seed`.
- Если количество запущенных потоков не превышает максимальное количество потоков и размер подмассива достаточно велик, создается новый поток.
- Новый поток рекурсивно сортирует одну часть массива, а текущий — другую.
- Если лимит потоков достигнут или размер подмассива недостаточно велик, оба подмассива сортируются в рамках текущего потока.

4. **Ожидание завершения всех потоков**:
    - Каждый поток ожидает завершения созданных им потоков, используя `Pthread_join`.

5. **Проверка на отсортированность**:
    - По завершении сортировки массив проверяется на отсортированность.

6. **Запись отсортированных данных в файл**:
    - По завершении сортировки файл `test.bin`, обновляется в соответствии с отображением.

Код программы

```
#include <stdlib.h>
#include <fcntl.h>

#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>

#include <sys/mman.h>

#include <sys/time.h>
struct timeval tv1,tv2,dtv;
```

```
struct timezone tz;
void time_start() { gettimeofday(&tv1, &tz); }
long time_stop()
{ gettimeofday(&tv2, &tz);
  dtv.tv_sec= tv2.tv_sec -tv1.tv_sec;
  dtv.tv_usec=tv2.tv_usec-tv1.tv_usec;
  if(dtv.tv_usec<0) { dtv.tv_sec--; dtv.tv_usec+=1000000; }
  return dtv.tv_sec*1000+dtv.tv_usec/1000;
}



pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;


void lltostr(long long a, char **ptr) {
    if (a == 0) {
        **ptr = '0';
        (*ptr)[1] = 0;
        return;
    }
    if (a < 0) {
        **ptr = '-';
        ++(*ptr);
    }
    a = llabs(a);
    if (a > 0) {
        lltostr(a / 10, ptr);
        **ptr = '0' + (a % 10);
        ++(*ptr);
    }
    **ptr = 0;
    return;
}
```

```
void swap(long long *a, long long *b) {
    long long buff = *a;
    *a = *b;
    *b = buff;
}


void check_if_sorted(long long *array, long long n) {
    long long *ptr = array;
    for (long long i = 1; i < n; ++i) {
        if (*ptr > ptr[1]) {
            char msg[] = "not sorted\n";
            write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
            return;
        }
        ++ptr;
    }
    char msg[] = "sorted\n";
    write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
    return;
}


void sort(long long **left, long long **right, long long **seed, long long *begin, long long *end) {
    while (*left < *right) {
        if ((**left >= **seed) && (**right < **seed)) {
            swap(*left, *right);
        }
        while (**left < **seed) {
            ++(*left);
```

```
        }
        while (*right >= begin && **right >= **seed) {
            --(*right);
        }
    }
    if (**left > **seed) {
        swap(*left, *seed);
    }
    *seed = *left;

    while (**left == **seed) {
        ++(*left);
    }

    ++(*right);

    return;
}


typedef struct {
    long long *array;
    long long *begin;
    long long *end;
    int *running_threads_count;
    int max_threads_count;
} qsort_args_t;

void *qsort_thread(void *args) {
    qsort_args_t *qsort_args = (qsort_args_t *)args;
    int result = my_qsort(qsort_args->array, qsort_args->begin, qsort_args->end,
                          qsort_args->running_threads_count, qsort_args->max_threads_count);
```

```
    free(args);
    return (void *)(long)result;
}

int my_qsort(long long *array, long long *begin, long long *end, int *running_threads_count, int max_threads_count) {
    if (end - begin < 2) {
        return 0;
    }

    long long *seed = end - 1;
    long long *left = begin;
    long long *right = end - 2;

    sort(&left, &right, &seed, begin, end);

    if (((end - left > 1e5)) && (*(running_threads_count) < max_threads_count)) {
        if (pthread_mutex_lock(&mutex) != 0) {
            char msg[] = "error locking mutex\n";
            write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
            return 1;
        }

        (*(running_threads_count))++;

        if (pthread_mutex_unlock(&mutex) != 0) {
            char msg[] = "error unlocking mutex\n";
            write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
            return 1;
        }

        pthread_t thread;
```

```
qsort_args_t *args = malloc(sizeof(qsort_args_t));
if (args == NULL) {
    char msg[] = "error allocating\n";
    write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
    return 1;
}
args->array = array;
args->begin = left;
args->end = end;
args->running_threads_count = running_threads_count;
args->max_threads_count = max_threads_count;

if (pthread_create(&thread, NULL, qsort_thread, args) != 0) {
    char msg[] = "error creating thread\n";
    write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
    free(args);
    return 1;
}

my_qsort(array, begin, right, running_threads_count, max_threads_count);

pthread_join(thread, NULL);

if (pthread_mutex_lock(&mutex) != 0) {
    char msg[] = "error locking mutex\n";
    write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
    return 1;
}

(*(running_threads_count))--;

if (pthread_mutex_unlock(&mutex) != 0) {
```

```
            char msg[] = "error unlocking mutex\n";
            write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
            return 1;
        }
    } else {
        my_qsort(array, left, end, running_threads_count, max_threads_count);
        my_qsort(array, begin, right, running_threads_count, max_threads_count);
    }

    return 0;
}


int main(int argc, char* argv[]) {
    if (argc != 2) {
        char msg[] = "wrong number of args\n";
        write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
        return -1;
    }

    int max_threads_count = atoi(argv[1]);

    int running_threads_count = 1;

    long long n = (long long)(1e8);

    int fd;
    if ((fd = open("test.bin", O_RDWR)) < 0) {
        char msg[] = "file error\n";
        write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);

        return -1;
```

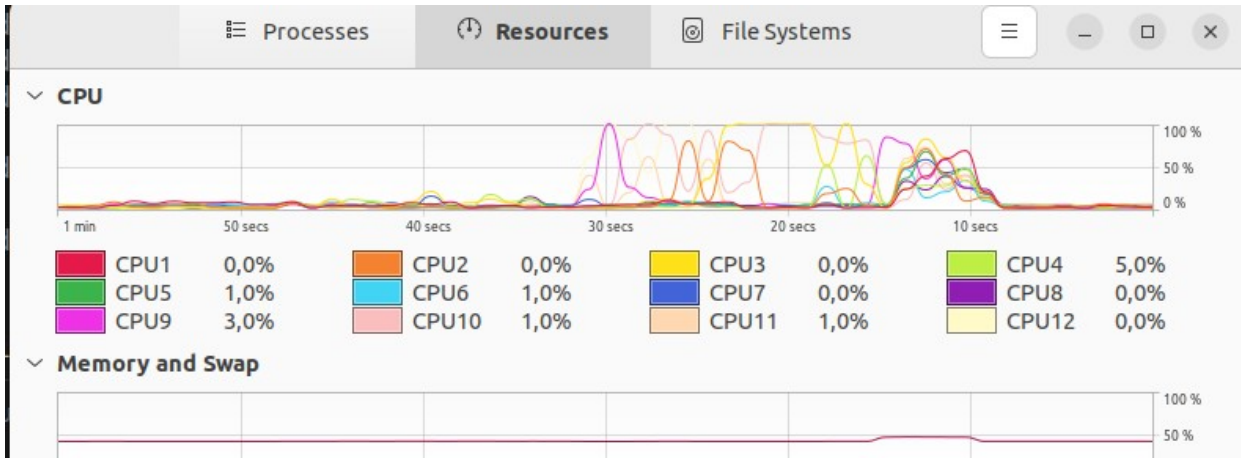
```
    }

    // long long n = 6;
    // long long array[6] = {1LL, 5LL, 9LL, 2LL, 8LL, 13LL};

    long long *array;
    if ((array = mmap(NULL, n * sizeof(long long), PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE,
fd, 0)) == (void *)(-1)) {
        char msg[] = "mmap error\n";
        write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg));

        close(fd);
        return -1;
    }

    time_start();
    write(STDOUT_FILENO, "started\n", sizeof("started\n") - 1);

    pthread_t thread1;
    qsort_args_t *args = malloc(sizeof(qsort_args_t));
    args->array = array;
    args->begin = array;
    args->end = array + n;
    args->max_threads_count = max_threads_count;
    args->running_threads_count = &running_threads_count;

    if (pthread_create(&thread1, NULL, qsort_thread, args) != 0) {
        char msg[] = "pthread_create error\n";
        write(STDERR_FILENO, msg, sizeof("pthread_create error\n") - 1);
        free(args);

        munmap(array, n * sizeof(long long));
```

```
    close(fd);
    return -1;
}

pthread_join(thread1, NULL);

long long time = (long long)time_stop();

write(STDOUT_FILENO, "completed in ", sizeof("completed in ") - 1);

char *strtime = (char *)malloc(25 * sizeof(char));
if (strtime == NULL) {
    char msg[] = "error allocating memory\n";
    write(STDOUT_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);

    munmap(array, n * sizeof(long long));
    close(fd);

    return 1;
}
char *ptr = strtime;
lltostr(time, &ptr);
write(STDOUT_FILENO, strtime, sizeof(strtime) - 1);
write(STDOUT_FILENO, "ms\n", sizeof("ms\n") - 1);
free(strtime);

check_if_sorted(array, n);
//msync(array,  n * sizeof(long long), MS_SYNC);

munmap(array, n * sizeof(long long));
close(fd);
```

```
    return 0;
}
```

Протокол работы программы

```
PROBLEMS  DEBUG CONSOLE  OUTPUT  TERMINAL  PORTS

npabwa@npabwa-Vivobook-ASUSLaptop-M6500QH-M6500QH:~/Desktop/MAI_OS/lab02/src$ make o n=1
./generate.sh
generated
./sol.out 1
started
completed in 18016ms
sorted
npabwa@npabwa-Vivobook-ASUSLaptop-M6500QH-M6500QH:~/Desktop/MAI_OS/lab02/src$ make o n=12
./generate.sh
generated
./sol.out 12
started
completed in 5092ms
sorted
npabwa@npabwa-Vivobook-ASUSLaptop-M6500QH-M6500QH:~/Desktop/MAI_OS/lab02/src$
```



Тестирование:

Написал скрипт, генерирующий случайный бинарный файл, который читается программой как последовательность чисел long long int.

generate.sh:

```
#!/bin/bash

head -c 4G </dev/urandom >test.bin

echo "generated"
```

Таблица зависимости времени работы от количества потоков:

(тестировал на случайно сгенерированных данных, 1e8 чисел, процессор 6 ядер 12 потоков)

Кол-во потоков	**1**	**2**	**4**	**8**	**12**
Время исполннения, с	17.6	9.9	10.4	5.3	5.7
Время исполннения, с	17.9	16.5	9.2	6.7	5.8
Время исполннения, с	17.4	11.2	8.3	7.4	5.0
Время исполннения, с	17.5	11.4	9.7	6.6	5.2
Время исполннения, с	17.8	10.5	9.7	6.9	5.2
Среднее время исполннения, с	**17.7**	**11.9**	**9.5**	**6.6**	**5.4**
Коэффициент производительности	**1.0**	**1.49**	**1.86**	**2.68**	**3.28**

Вывод утилиты starce находится в отдельном файле strace.txt в одной директории с этим отчётом в силу своего размера (7000 строк).

Вывод

Реализовал алгоритм многопоточной быстрой сортировки.

При увеличении количества потоков в 2 раза, время исполнения уменьшается в ~1.4 раза (зависит от входных данных)