

Московский Авиационный Институт  
(Национальный Исследовательский Университет)

Факультет информационных технологий и прикладной математики  
Кафедра вычислительной математики и программирования

**Лабораторная работа №3**  
**по курсу «Операционные системы»**  
**III Семестр**

**Вариант 14**

Студент:	Короткевич Л. В.
Группа:	М80-208Б-19
Преподаватель:	Миронов Е.С
Оценка:	
Дата:	

# 1. Постановка задачи

Составить программу на языке Си, обрабатывающую данные в многопоточном режиме. При обработки использовать стандартные средства создания потоков операционной системы (Windows/Unix). Ограничение потоков должно быть задано ключом запуска вашей программы.

Привести исследование зависимости ускорения и эффективности алгоритма от входящих данных и количества потоков. Получившиеся результаты объяснить.

## Вариант 14:

Есть колода из 52 карт, рассчитать экспериментально (метод Монте-Карло) вероятность того, что сверху лежат две одинаковых карты. Количество раундов подается с ключом.

# 2. Метод решения

*Используемые системные и библиотечные вызовы для выполнения работы:*

<pre>int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *restrict mutex, const pthread_mutexattr_t *restrict attr);</pre>	Функция pthread_mutex_init() инициализирует мьютекс с атрибутами, заданными attr. Если значение attr равно NULL, то используются атрибуты мьютекса по умолчанию
<pre>int pthread_create(pthread_t *thread, const pthread_attr_t *attr, void *(*start_routine) (void *), void *arg);</pre>	Функция pthread_create() запускает новый поток в вызывающем процессе. Новый поток начинает выполнение, вызывая start_routine(); arg передается в качестве единственного аргумента start_routine().
<pre>int pthread_join(pthread_t thread, void **retval);</pre>	Функция pthread_join() ожидает завершения указанного потока. Если этот поток уже завершен, то функция thread_join() немедленно возвращается.

<pre>int pthread_mutex_destroy (pthread_mutex_t *mutex);</pre>	Функция pthread_mutex_destroy() уничтожает мьютекс; мьютекс становится, по сути, неинициализированным.
--	--

*Краткий алгоритм решения:*

- 1) Получение числа раундов, кол-ва потоков в кач-ве аргументов при запуске программы.
- 2) Инициализация мьютекса.
- 3) Создание заданного числа потоков.
  - 1) Моделирование перемешивания колоды карт в функции потоков.
  - 2) Заблокировать мьютекс.
  - 3) Инкрементировать результат, переменную count в случае успешного результата эксперимента.
  - 4) Разблокировать мьютекс.
- 4) Ожидание завершения потоков.
- 5) Уничтожение мьютекса.

*Несколько подробней об отдельной функции void \*thread\_func(void \*arg):*  
 Функция получает на вход единственный аргумент – число раундов. Создается массив целых чисел размера 52. Заполняется числами от 0 до 12 (каждого из числа в массиве будет ровно 4, сколько и мастей в стандартной колоде). Устанавливается в качестве базы для rand() текущее время. После чего нехитрым алгоритмом случайным образом перемешивается исходный массив. Далее мы сравниваем две крайние карты и, соответственно, увеличиваем в случае положительного рез-тата глобальную переменную count на 1, прежде заблокировав мьютекс во избежание “гонки”. Наконец, разблокируем мьютекс и по мере завершения необх. числа раундов завершим работу определенной нити.

*Вычисление теоретической вероятности для последующего сравнения точности полученных результатов при проведении экспериментов:*

На первое место ставится одна из 52 карт. Следом за ней - одна из 3 оставшихся с равным первой значением (масти полагаем незначащим параметром). Следом - 50 любых карт в случайном порядке. Итого:  $52 * 3 * 50!$  удовл. вариантов. Всего же –  $52!$ . Вероятность равняется  $52 * 3 * 50! / 52! = 3/51$  – приблизительно 5.9%.

### *Метрики параллельных вычислений:*

Метрики параллельных вычислений используется для оценки роста производительности, получаемого при параллельном решении задачи на  $p$  процессорах. Также они позволяют определить необходимое кол-во процессоров, используемых для решения конкретной задачи.

- $T_p$  – время выполнения на  $p$  различных вычислительных ядрах
- Ускорение:  $S_p = T_1/T_p$ ,  $S_p < p$
- Эффективность/загруженность:  $X_p = S_p/p$ ,  $X_p < 1$
- Закон Амдала (здесь ускорение показывает во сколько раз меньше времени потребуется параллельной прог-е для выполнения):

$$S_p = 1 / (g + (1 - g) / p)$$

$g$  – доля последовательных расчётов в программе,

$p$  – количество процессоров,

$S_p$  – производительность.

- Закон Густавсона — Барсиса (здесь укорение -- это увеличение объема выполненной задачи за постоянный промежуток времени)

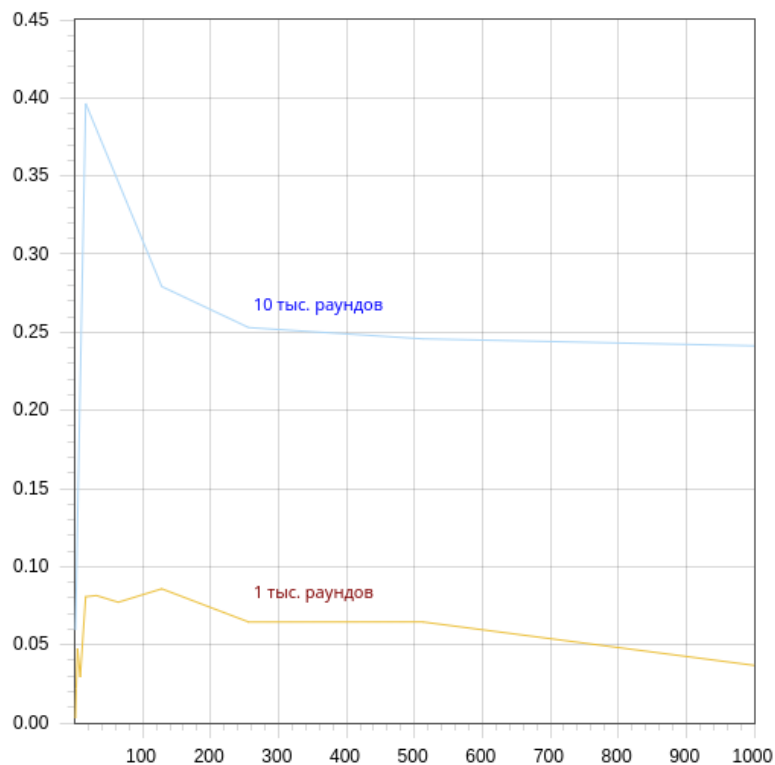
$$S_p = g + (1 - g)p = p + (1 - p)g$$

$g$  – доля последовательных расчётов в программе,

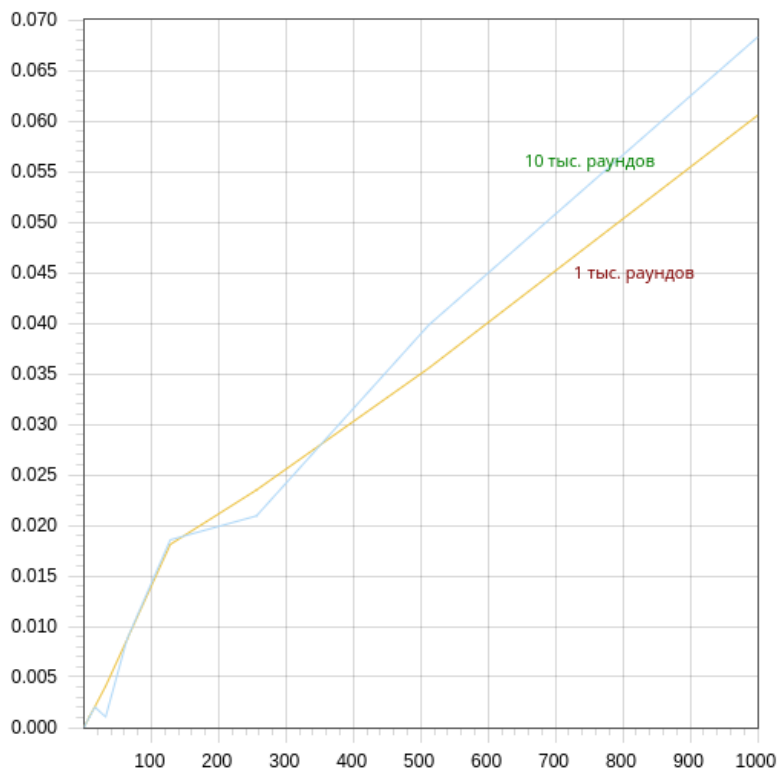
$p$  – количество процессоров.

### 3. Тестирование

График зависимости времени от числа потоков при фиксированном числе раундов:



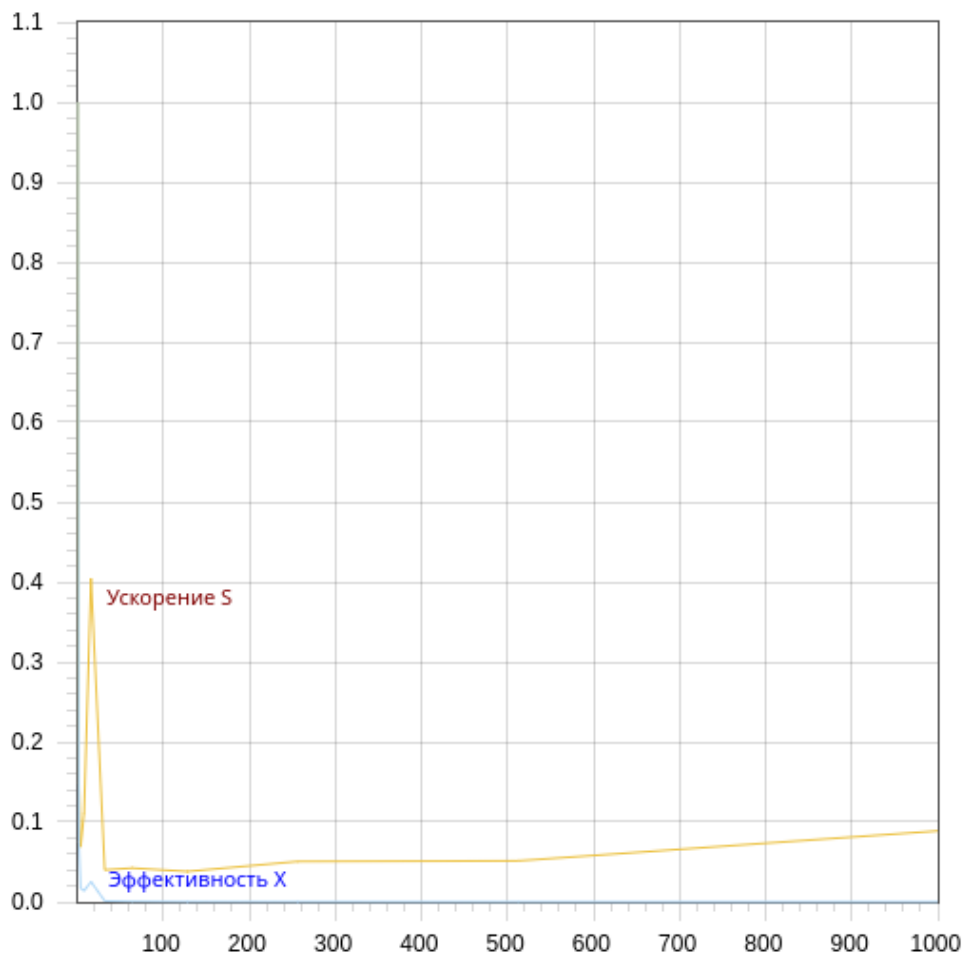
Из интереса я написал программу того же содержания, но с использованием fork. Результаты ее тестирования приведены ниже.



Многопроцессорная версия проигрывает многопоточной программе. Часто многопроцессорные программы проще проектировать, если введены некоторые ограничения, однако они имеют тенденцию быть менее эффективными чем многопоточные их аналоги.

Теперь определим метрики параллельных вычислений на примере 1000 раундов.

<b>p</b>	<b>T1 (sec)</b>	<b>Tr (sec)</b>	Ускорение ( <b>Sp</b> =T1/Tr)	Эффективность ( <b>Xp</b> =Sp/p)
2	0.003267	0.021822	0,1497113005	0,07485565026
4	0.003267	0.047556	0,06869795609	0,01717448902
8	0.003267	0.029313	0,1114522567	0,01393153208
16	0.003267	0.08074	0,4046321526	0,02528950954
32	0.003267	0.081485	0,0400932687	0,001252914647
64	0.003267	0.077196	0,04232084564	0,0006612632131
128	0.003267	0.085800	0,03807692308	0,0002974759615
256	0.003267	0.064539	0,05062055501	0,000197736543
512	0.003267	0.063596	0,05137115542	0,0001003342879
1000	0.003267	0.036805	0,08876511344	0,00008876511344



Почему же ускорение и эффективность столь малы?

1) srand/rand пожирают 60% времени исполнения программы, показал perf:

Samples: 70 of event 'cycles:u', Event count (approx.): 8142299			
Overhead	Command	Shared Object	Symbol
36.23%	main	libc-2.32.so	[.] __random
31.59%	main	libc-2.32.so	[.] __srandom_r
7.36%	main	main	[.] thread_func
6.55%	main	main	[.] swap
5.72%	main	libc-2.32.so	[.] __random_r
2.64%	main	libc-2.32.so	[.] __malloc_arena_thread_freeres
2.60%	main	ld-2.32.so	[.] _dl_sort_maps
1.27%	main	ld-2.32.so	[.] do_lookup_x
1.26%	main	[unknown]	[k] 0xfffffffffa4800163
1.24%	main	[unknown]	[k] 0xfffffffffa4800fc7

2) swap и thread\_func также оставляют желать лучшего в плане времени исполнения

3) операции инкрементирования глобальной переменной под мьютексом - дорогостоящая вещь

4) каждый поток инициализирует массив размера 52 и несколько локальных переменных, что тоже не есть хорошо

Консоль:

```
/* using threads */
```

```
[leo@pc final]$ gcc -pthread -o main main.c
```

```
[leo@pc final]$ ./main 100 1
```

```
Probability equals to 0.050
```

```
Time spent: 0.001903 seconds
```

```
[leo@pc final]$ ./main 100 10
```

```
Probability equals to 0.080
```

```
Time spent: 0.008503 seconds
```

```
[leo@pc final]$ ./main 100 100
```

```
Probability equals to 0.080
```

```
Time spent: 0.015445 seconds
```

```
[leo@pc final]$ ./main 1000 1
```

```
Probability equals to 0.059
```

```
Time spent: 0.011920 seconds
```

```
[leo@pc final]$ ./main 1000 100
```

```
Probability equals to 0.064
```

```
Time spent: 0.015275 seconds
```

```
[leo@pc final]$ ./main 1000 1000
```

```
Probability equals to 0.046
```

```
Time spent: 0.095889 seconds
```

```
/* using forks */
```

```
[leo@pc using forks]$ ./main 1000 1
```

```
59/1000 experiments were successful
```

```
Probability equals to 5.90%
```

```
Time spent: 0.000147 seconds
```

```
[leo@pc using forks]$ ./main 1000 10
```

```
46/1000 experiments were successful
```

```
Probability equals to 4.60%
```

```
Time spent: 0.001292 seconds
```

[leo@pc using forks]\$ ./main 1000 100  
39/1000 experiments were successful  
Probability equals to 3.90%  
Time spent: 0.012084 seconds  
[leo@pc using forks]\$ ./main 1000 1000  
25/1000 experiments were successful  
Probability equals to 2.50%  
Time spent: 0.068951 seconds

## Strace

Сразу продемонстрирую лог с ключами -f для отслеживания всех потоков и -t для демонстрации «относительного времени» вызовов:

```
0.000000 execve("./main", ["/main", "3", "1"], 0x7ffc61ba48d0 /* 58 vars */) = 0
0.000966 brk(NULL) = 0x562b34237000
0.000164 arch_prctl(0x3001 /* ARCH_??? */, 0x7ffdfecb8d90) = -1 EINVAL (Invalid argument)
0.000510 access("/etc/ld.so.preload", R_OK) = -1 ENOENT (No such file or directory)
0.000311 openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
0.000378 fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=208296, ...}) = 0
0.000251 mmap(NULL, 208296, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x7fc19acdc000
0.000151 close(3) = 0
0.000115 openat(AT_FDCWD, "/usr/lib/libpthread.so.0", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
0.000139 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0>\0\1\0\0\0000\201\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
0.000092 pread64(3, "\4\0\0\0\24\0\0\0\3\0\0\0GNU\0\307Y\373z\3054\277z\21\35\225\341\273\304<\223"..., 68, 824) = 68
0.000093 fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=158744, ...}) = 0
0.000092 mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fc19acda000
0.000107 mmap(NULL, 135600, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x7fc19acb8000
0.000091 mmap(0x7fc19acbf000, 65536, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x7000) = 0x7fc19acbf000
0.000108 mmap(0x7fc19accf000, 20480, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x17000) = 0x7fc19accf000
0.000093 mmap(0x7fc19acd4000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1b000) = 0x7fc19acd4000
0.000140 mmap(0x7fc19acd6000, 12720, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fc19acd6000
0.000379 close(3) = 0
0.000233 openat(AT_FDCWD, "/usr/lib/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
0.000235 read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0>\0\1\0\0\0220\202\2\0\0\0\0"..., 832) = 832
0.000222 pread64(3, "\6\0\0\0\4\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0"..., 784, 64) = 784
0.000164 pread64(3, "\4\0\0\0\20\0\0\0\5\0\0\0GNU\0\2\0\0\300\4\0\0\0\3\0\0\0\0\0\0\0", 32, 848) = 32
0.000209 pread64(3, "\4\0\0\0\24\0\0\0\3\0\0\0GNU\0\364[g\253(\257\25\201\313\250\344q>\17\323\262"..., 68, 880) = 68
0.000206 fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=2159552, ...}) = 0
0.000213 pread64(3, "\6\0\0\0\4\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0"..., 784, 64) = 784
0.000098 mmap(NULL, 1868448, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x7fc19aaef000
0.000097 mmap(0x7fc19ab15000, 1363968, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x26000) = 0x7fc19ab15000
0.000109 mmap(0x7fc19ac62000, 311296, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x173000) = 0x7fc19ac62000
0.000094 mmap(0x7fc19acae000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1be000) = 0x7fc19acae000
0.000150 mmap(0x7fc19acb4000, 12960, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fc19acb4000
0.000160 close(3) = 0
0.000227 mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fc19aaec000
0.000221 arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x7fc19aaec740) = 0
0.000287 mprotect(0x7fc19acae000, 12288, PROT_READ) = 0
0.000305 mprotect(0x7fc19acd4000, 4096, PROT_READ) = 0
```



```

0.000116 mprotect(0x562b33e8b000, 4096, PROT_READ) = 0
0.000095 mprotect(0x7fc19ad3b000, 4096, PROT_READ) = 0
0.000137 munmap(0x7fc19acdc000, 208296) = 0
0.000132 set_tid_address(0x7fc19aaeca10) = 26146
0.000080 set_robust_list(0x7fc19aaeca20, 24) = 0
0.000097 rt_sigaction(SIGRTMIN, {sa_handler=0x7fc19acbf90, sa_mask=[], sa_flags=SA_RESTORER|
SA_SIGINFO, sa_restorer=0x7fc19accc0f0}, NULL, 8) = 0
0.000114 rt_sigaction(SIGRT_1, {sa_handler=0x7fc19acbf90, sa_mask=[], sa_flags=SA_RESTORER|
SA_RESTART|SA_SIGINFO, sa_restorer=0x7fc19accc0f0}, NULL, 8) = 0
0.000096 rt_sigprocmask(SIG_UNBLOCK, [RTMIN RT_1], NULL, 8) = 0
0.000099 prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024, rlim_max=RLIM64_INFINITY}) = 0
0.000166 clock_gettime(CLOCK_PROCESS_CPUTIME_ID, {tv_sec=0, tv_nsec=3803310}) = 0
0.000114 mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0) =
0x7fc19a2eb000
0.000094 mprotect(0x7fc19a2ec000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0
0.000197 brk(NULL) = 0x562b34237000
0.000079 brk(0x562b34258000) = 0x562b34258000
0.000097 rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[], [], 8) = 0
0.000114 clone(child_stack=0x7fc19aaeaf0, flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|
CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CLONE_PARENT_SETTID|
CLONE_CHILD_CLEARTID|strace: Process 26147 attached
, parent_tid=[26147], tls=0x7fc19aaeb640, child_tidptr=0x7fc19aaeb910) = 26147
[pid 26147] 0.000174 set_robust_list(0x7fc19aaeb920, 24 <unfinished ...>
[pid 26146] 0.000036 rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 26147] 0.000041 <... set_robust_list resumed>) = 0
[pid 26146] 0.000026 <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 26147] 0.000027 rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 26146] 0.000040 futex(0x7fc19aaeb910, FUTEX_WAIT, 26147, NULL <unfinished ...>
[pid 26147] 0.000037 <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 26147] 0.000044 clock_gettime(CLOCK_PROCESS_CPUTIME_ID, {tv_sec=0, tv_nsec=4344600}) = 0
[pid 26147] 0.000102 clock_gettime(CLOCK_PROCESS_CPUTIME_ID, {tv_sec=0, tv_nsec=4386645}) = 0
[pid 26147] 0.000097 clock_gettime(CLOCK_PROCESS_CPUTIME_ID, {tv_sec=0, tv_nsec=4424800}) = 0
[pid 26147] 0.000108 openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
[pid 26147] 0.000107 fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=208296, ...}) = 0
[pid 26147] 0.000094 mmap(NULL, 208296, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x7fc19acdc000
[pid 26147] 0.000090 close(3) = 0
[pid 26147] 0.000111 mmap(NULL, 134217728, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|
MAP_NORESERVE, -1, 0) = 0x7fc1922eb000
[pid 26147] 0.000088 munmap(0x7fc1922eb000, 30494720) = 0
[pid 26147] 0.000091 munmap(0x7fc198000000, 36614144) = 0
[pid 26147] 0.000085 mprotect(0x7fc194000000, 135168, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0
[pid 26147] 0.000099 openat(AT_FDCWD, "/usr/lib/libgcc_s.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
[pid 26147] 0.000099 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
[pid 26147] 0.000096 fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=594704, ...}) = 0
[pid 26147] 0.000132 mmap(NULL, 103144, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7fc19a2d1000
[pid 26147] 0.000096 mmap(0x7fc19a2d4000, 69632, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|
MAP_DENYWRITE, 3, 0x3000) = 0x7fc19a2d4000
[pid 26147] 0.000185 mmap(0x7fc19a2e5000, 16384, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|
MAP_DENYWRITE, 3, 0x14000) = 0x7fc19a2e5000
[pid 26147] 0.000093 mmap(0x7fc19a2e9000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|
MAP_DENYWRITE, 3, 0x17000) = 0x7fc19a2e9000
[pid 26147] 0.000130 close(3) = 0
[pid 26147] 0.000129 mprotect(0x7fc19a2e9000, 4096, PROT_READ) = 0
[pid 26147] 0.000108 munmap(0x7fc19acdc000, 208296) = 0
[pid 26147] 0.000134 futex(0x7fc19a2ea080, FUTEX_WAKE_PRIVATE, 2147483647) = 0
[pid 26147] 0.000099 rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], NULL, 8) = 0
[pid 26147] 0.000109 madvise(0x7fc19a2eb000, 8368128, MADV_DONTNEED) = 0
[pid 26147] 0.000089 exit(0) = ?
[pid 26146] 0.000106 <... futex resumed>) = 0
[pid 26147] 0.000020 +++ exited with 0 +++
0.000021 clock_gettime(CLOCK_PROCESS_CPUTIME_ID, {tv_sec=0, tv_nsec=5531068}) = 0
0.000125 fstat(1, {st_mode=S_IFCHR|0600, st_rdev=makedev(0x88, 0x1), ...}) = 0

```

```

0.000111 write(1, "Probability equals to 0.000\n", 28Probability equals to 0.000
) = 28
0.000107 write(1, "Time spent: 0.001728 seconds\n", 29Time spent: 0.001728 seconds
) = 29
0.000102 exit_group(0)          = ?
0.000263 +++ exited with 0 +++

```

Наблюдательно, но не удивительно: мы запустили 3 потока, и, как и должно быть, наблюдаем 3 вызова функции `clock_gettime` (выделены жирным).

Видим также сис. вызов `clone` с ключом `CLONE_THREAD`.

```

[leo@pc final]$ strace -f -r -y -c ./main 3 1
strace: -r/--relative-timestamps has no effect with -c/--summary-only
strace: -y/--decode-fds has no effect with -c/--summary-only
strace: Process 27692 attached
Probability equals to 0.000
Time spent: 0.000486 seconds
% time    seconds  usecs/call   calls   errors syscall
-----
0.00 0.000000      0      3      read
0.00 0.000000      0      2      write
0.00 0.000000      0      5      close
0.00 0.000000      0      6      fstat
0.00 0.000000      0     20      mmap
0.00 0.000000      0      7      mprotect
0.00 0.000000      0      4      munmap
0.00 0.000000      0      3      brk
0.00 0.000000      0      2      rt_sigaction
0.00 0.000000      0      5      rt_sigprocmask
0.00 0.000000      0      5      pread64
0.00 0.000000      0      1      1 access
0.00 0.000000      0      1      madvise
0.00 0.000000      0      1      clone
0.00 0.000000      0      1      execve
0.00 0.000000      0      2      1 arch_prctl
0.00 0.000000      0      2      futex
0.00 0.000000      0      1      set_tid_address
0.00 0.000000      0      5      clock_gettime
0.00 0.000000      0      5      openat
0.00 0.000000      0      2      set_robust_list
0.00 0.000000      0      1      prlimit64
-----
100.00 0.000000      0     84      2 total

```

## 4. Листинг программы

**main.c:**

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>

const int DECK_SIZE = 52;

void swap(int *a, int *b)
{
    int tmp = *a;
    *a = *b;
    *b = tmp;
}

int count = 0;

```

```

pthread_mutex_t mutex;

void *thread_func(void *arg)
{
    int deck[DECK_SIZE];

    for (int k = 0; k < *((int *)arg); ++k)
    {
        for (int i = 0; i < DECK_SIZE; ++i)
        {
            deck[i] = (i + 1) % 13; // значения карт варьируются от 2 до 14 == от 0 до 12
        }

        srand(clock());

        for (int i = DECK_SIZE - 1; i >= 0; --i)
        {
            int j = (int)rand() % (i + 1);
            swap(&deck[i], &deck[j]);
        }

        if (deck[0] == deck[1])
        {
            pthread_mutex_lock(&mutex);
            ++count;
            pthread_mutex_unlock(&mutex);
        }
    }

    pthread_exit(0);
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    if (argc != 3)
    {
        perror("Usage: ./main <number of rounds> <number of threads>\n");
        exit(1);
    }

    clock_t begin = clock();

    pthread_t tid[atoi(argv[2])];

    if (pthread_mutex_init(&mutex, NULL) < 0)
    {
        perror("Mutex init error");
        exit(1);
    }

    int rounds = atoi(argv[1]);
    for (int i = 0; i < atoi(argv[2]); ++i)
    {
        if (pthread_create(&tid[i], NULL, thread_func, &rounds) != 0)
        {
            perror("Can't create thread\n");
            exit(1);
        }
    }
    for (int i = 0; i < atoi(argv[2]); ++i)
    {
        if (pthread_join(tid[i], NULL) != 0)
        {
            perror("Can't join threads");
            exit(1);
        }
    }

    if (pthread_mutex_destroy(&mutex) < 0)
    {
        perror("Mutex destroy error");
        exit(1);
    }

    clock_t end = clock();
    double time_spent = (double)(end - begin) / CLOCKS_PER_SEC;

    printf("Probability equals to %.3lf\n", (double)count / (atoi(argv[1]) * atoi(argv[2])));
    printf("Time spent: %lf seconds\n", time_spent);
}

```

```
    return 0;
}
```

## multifork version:

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <time.h>
#include <errno.h>
#include <fcntl.h>
#include <string.h>
```

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

```
#define DECK_SIZE 52
```

```
int random_in_interval(int a, int b)
{
    return a + rand() % (b - a + 1);
}
```

```
void swap(int *a, int *b)
{
    int tmp = *a;
    *a = *b;
    *b = tmp;
}
```

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    if (argc != 3)
    {
        fprintf(stderr, "Usage: ./main <number of rounds> <number of threads>\n");
        exit(1);
    }
}
```

```
int r = atoi(argv[1]) / atoi(argv[2]), n = atoi(argv[2]) + 1;
```

```
int **fd = (int **)malloc(sizeof(int *) * n);
for (int i = 0; i < n; ++i)
    fd[i] = (int *)malloc(sizeof(int) * 2);
for (int i = 0; i < n; ++i)
{
    if (pipe(fd[i]) < 0)
    {
        perror("Pipe error");
        exit(1);
    }
}
```

```
clock_t begin = clock();
pid_t *pid = (pid_t *)malloc(sizeof(pid_t) * n);
for (int i = 1; i < n; ++i)
{
    pid[i] = fork();
    if (pid[i] < 0)
    {
        perror("Fork error");
        exit(1);
    }
}
```

```
if (pid[i] == 0)
{
    for (int j = 0; j < n; ++j)
    {
        if (j != i - 1)
        {
            close(fd[j][0]);
        }
        if (j != i)
        {
            close(fd[j][1]);
        }
    }
}
```

```
int x;
```

```

    if (read(fd[i - 1][0], &x, sizeof(int)) < 0)
    {
        perror("Reading error");
        exit(1);
    }

    int deck[DECK_SIZE];
    for (int k = 0; k < r; ++k)
    {
        srand(clock());

        for (int m = 0; m < DECK_SIZE; ++m)
        {
            deck[m] = (m + 1) % 13;
        }

        for (int p = DECK_SIZE - 1; p >= 0; --p)
        {
            int s = (int)rand() % (p + 1);
            swap(&deck[s], &deck[p]);
        }

        if (deck[51] == deck[50])
        {
            x++;
        }
    }

    if (write(fd[i][1], &x, sizeof(int)) < 0)
    {
        perror("Writing error");
        exit(1);
    }

    close(fd[i - 1][0]);
    close(fd[i][1]);

    return 0;
}
}
clock_t end = clock();
double time_spent = (double)(end - begin) / CLOCKS_PER_SEC;

for (int j = 0; j < n; ++j)
{
    if (j != 0)
    {
        close(fd[j][1]);
    }
    if (j != n - 1)
    {
        close(fd[j][0]);
    }
}

int x = 0;

if (write(fd[0][1], &x, sizeof(int)) < 0)
{
    perror("Writing origin x to child1 error");
    exit(1);
}
if (read(fd[n - 1][0], &x, sizeof(int)) < 0)
{
    perror("Reading processed x error");
    exit(1);
}

printf("%d/%d experiments were successful\n", x, r * (n - 1));
printf("Probability equals to %.2lf%\n", 100.0 * x / r / (n - 1));
printf("Time spent: %lf seconds\n", time_spent);

close(fd[n - 1][0]);
close(fd[0][1]);

for (int i = 1; i < n; ++i)
{
    waitpid(pid[i], NULL, 0);
}

```

```
}  
  
// memory free  
free(pid);  
for (int i = 0; i < n; ++i)  
    free(fd[i]);  
free(fd);  
  
return 0;  
}
```

## Вывод

По мере выполнения данной лабораторной работы я познал преимущества и недостатки многопоточности; освоил работу с мьютексами, их создание/удаление, использование во избежание некорректностей, нарушения последовательности выполнения задач потоками.

Логичным было наблюдать превосходство многопоточности над многопроцессорностью: несколько процессов запускаются с целью повышения отказоустойчивости приложения, а также с целью повышения безопасности, но не эффективности. Многопоточность же - вариант реализации вычислений, при котором для решения некоторой прикладной задачи запускаются и выполняются несколько независимых потоков вычислений, имеющих общую память; причём выполнение происходит одновременно или псевдоодновременно, что дает выигрыш во времени.

Также потоки быстрее создаются и уничтожаются, чем процессы (в некоторых системах в 10-100 раз). Это особенно критично в задачах, требующих частое изменение количества потоков.

Потоки одного процесса имеют полный доступ к адресному пространству всего процесса, в том числе таблице дескрипторов, сигналы и даже к данным других потоков. Один поток, например, может напрямую записывать данные в стек другого потока. Этого никто не запрещает.

Однако, потоки имеют следующий недостаток: при параллельной работе нескольких потоков может произойти ситуация, когда потоки одновременно обращаются к одному ресурсу. И, если оба из них просто "читают", то вроде бы и ничего плохого в этом нет, но если один из них ведет запись, то у потоков может оказаться неактуальная информация, а следовательно, дальнейшая работа программы будет некорректной.

Для того, чтобы справиться с данной проблемой были придуманы примитивы синхронизации. В них входят критические области, барьеры, спин-блокировки, семафоры и т.д.

Наблюдательно, что для точной оценки вероятности (схожей с теоретической до сотых) достаточно всего одной тысячи раундов. Я был приятно удивлен тому, как просто проверять правдивость тех или иных теоретических утверждений с помощью компьютера. Полагаю, без многопоточности сей процесс занял бы

большое время.

Интересно также было реализовывать метод Монте-Карло: полное моделирование ситуации, эксперимента для последующего получения результатов. Хотя в данной ЛР мне кажется избыточным полное моделирование процесса (можно было бы обойтись случайной генерацией двух крайних карт), в других случаях, как, например, вычисление числа «пи» с точностью до  $n$  знаков и других вычислительных задачах без этого никуда!