Лабораторная работа 3

Создано системой Doxygen 1.13.2

1 readme 1

2 Иерархический список классов 3
2.1 Иерархия классов . . . 3

3 Алфавитный указатель классов 5
3.1 Классы . . . 5

4 Список файлов 7
4.1 Файлы . . . 7

5 Классы 9
5.1 Класс LCG . . . 9
5.1.1 Подробное описание . . . 10
5.1.2 Конструктор(ы) . . . 10
5.1.2.1 LCG() . . . 10
5.1.3 Методы . . . 11
5.1.3.1 generate() . . . 11
5.1.4 Данные класса . . . 11
5.1.4.1 b . . . 11
5.1.4.2 k . . . 11
5.1.4.3 M . . . 11
5.1.4.4 seed . . . 12
5.2 Класс mid_xor_PRNG . . . 12
5.2.1 Подробное описание . . . 13
5.2.2 Конструктор(ы) . . . 13
5.2.2.1 mid_xor_PRNG() . . . 13
5.2.3 Методы . . . 14
5.2.3.1 generate() . . . 14
5.2.4 Данные класса . . . 14
5.2.4.1 seed . . . 14
5.3 Класс mul_xor_PRNG . . . 14
5.3.1 Подробное описание . . . 15
5.3.2 Конструктор(ы) . . . 15
5.3.2.1 mul_xor_PRNG() . . . 15
5.3.3 Методы . . . 16
5.3.3.1 generate() . . . 16
5.3.4 Данные класса . . . 16
5.3.4.1 seed . . . 16
5.4 Класс PRNG . . . 17
5.4.1 Подробное описание . . . 17
5.4.2 Конструктор(ы) . . . 17
5.4.2.1 PRNG() . . . 17
5.4.3 Методы . . . 18
5.4.3.1 generate() . . . 18

5.4.3.2 generate_sample() . . . 18
5.4.3.3 result() . . . 18
5.4.4 Данные класса . . . 19
5.4.4.1 max_lim . . . 19
5.4.4.2 min_lim . . . 19

6 Файлы 21
6.1 Файл create_samples.cpp . . . 21
6.1.1 Подробное описание . . . 21
6.1.2 Функции . . . 22
6.1.2.1 create_samples() . . . 22
6.1.2.2 main() . . . 23
6.2 create_samples.cpp . . . 23
6.3 Файл get_results.cpp . . . 24
6.3.1 Подробное описание . . . 25
6.3.2 Функции . . . 25
6.3.2.1 main() . . . 25
6.3.2.2 process_sample() . . . 27
6.4 get_results.cpp . . . 27
6.5 Файл include/defs.h . . . 30
6.5.1 Подробное описание . . . 30
6.5.2 Макросы . . . 30
6.5.2.1 ALPHA . . . 30
6.5.2.2 AP_ENTROPY_M . . . 30
6.5.2.3 MAX_LIM . . . 30
6.5.2.4 MIN_LIM . . . 31
6.5.2.5 SAMPLES_DIR . . . 31
6.5.2.6 SERIAL_M . . . 31
6.6 defs.h . . . 31
6.7 cephes.h . . . 31
6.8 Файл include/prng.h . . . 32
6.8.1 Подробное описание . . . 32
6.9 prng.h . . . 32
6.10 Файл include/tests.h . . . 33
6.10.1 Подробное описание . . . 34
6.10.2 Функции . . . 34
6.10.2.1 get_apEn() . . . 34
6.10.2.2 get_chi2() . . . 35
6.10.2.3 get_cv() . . . 35
6.10.2.4 get_mean() . . . 36
6.10.2.5 get_pattern_counts() . . . 36
6.10.2.6 get_psi2() . . . 37
6.10.2.7 get_stdDev() . . . 37

6.10.2.8 nist_apEntropy() . . . 38
6.10.2.9 nist_cusum() . . . 38
6.10.2.10 nist_frequency() . . . 38
6.10.2.11 nist_runs() . . . 39
6.10.2.12 nist_serial() . . . 40
6.10.2.13 sample_to_bit_sequence() . . . 40
6.11 tests.h . . . 41
6.12 cephes.cpp . . . 41
6.13 Файл src/nist_funcs.cpp . . . 45
6.13.1 Подробное описание . . . 45
6.13.2 Функции . . . 45
6.13.2.1 get_apEn() . . . 45
6.13.2.2 get_pattern_counts() . . . 46
6.13.2.3 get_psi2() . . . 47
6.13.2.4 sample_to_bit_sequence() . . . 47
6.14 nist_funcs.cpp . . . 48
6.15 Файл src/nist_tests.cpp . . . 49
6.15.1 Подробное описание . . . 49
6.15.2 Функции . . . 49
6.15.2.1 nist_apEntropy() . . . 49
6.15.2.2 nist_cusum() . . . 50
6.15.2.3 nist_frequency() . . . 50
6.15.2.4 nist_runs() . . . 51
6.15.2.5 nist_serial() . . . 52
6.16 nist_tests.cpp . . . 52
6.17 Файл src/prng.cpp . . . 53
6.17.1 Подробное описание . . . 53
6.18 prng.cpp . . . 54
6.19 Файл src/tests.cpp . . . 55
6.19.1 Подробное описание . . . 55
6.19.2 Функции . . . 55
6.19.2.1 get_chi2() . . . 55
6.19.2.2 get_cv() . . . 56
6.19.2.3 get_mean() . . . 56
6.19.2.4 get_stdDev() . . . 57
6.20 tests.cpp . . . 57
6.21 Файл time_check.cpp . . . 58
6.21.1 Подробное описание . . . 59
6.21.2 Функции . . . 59
6.21.2.1 check_time() . . . 59
6.21.2.2 main() . . . 60
6.22 time_check.cpp . . . 60
6.23 time_graph.py . . . 62

Предметный указатель 63

Глава 1

readme

Подсказка к возможностям makefile:

- make samples - создаёт папку samples с наборами сгенерированных выборок разных размеров для каждого генератора
- make results - в каждом вышеуказанном наборе создаёт файл .csv содежращиё все результаты всех измерений и тестов
- make time - создаёт файл generation_time.csv содержащий время генерации выборок разных объёмов для разных генераторов
- make graph - создаёт файл generation_time.png содежращий графики к вышеуказанному файлу
- make doc - конструирует html и latex doxygen документацию
- make pdf - запускает make doc, а затем собирает pdf версий latex документации

- make clean - удаляет созданные объектные и исполняемые файлы
- make cleanall - запускает make clean удаляет папки samples, html и latex со всем содержимым, а также файлы generation_time.csv и generation_time.png (потребуется подтверждение для удаления)
- make или make all запустит подряд все вышеуказанные команды, кроме clean, cleanall, doc и pdf

Глава 2

Иерархический список классов

2.1 Иерархия классов

Иерархия классов.

PRNG 17
  LCG 9
  mid_xor_PRNG 12
  mul_xor_PRNG 14

Глава 3

Алфавитный указатель классов

3.1 Классы

Классы с их кратким описанием.

LCG
: Генератор, основанный на линейном конгруэнтном методе 9

mid_xor_PRNG
: Генератор, основанный на среднем квадрата и Xor 12

mul_xor_PRNG
: Генератор, основанный на произведении и Xor 14

PRNG
: Абстрактный базовый класс генераторов 17

Глава 4

Список файлов

4.1 Файлы

Полный список документированных файлов.

create_samples.cpp
: Файл, предназначенный для генерации выборок разными генераторами 21

get_results.cpp
: Файл для вычисления измерений и проведения тестов над выборками 24

time_check.cpp
: Файл, в котором производится измерение времени генерации выборок разных размеров разными генераторами и одним из стандартных генераторов 58

time_graph.py 62

include/defs.h
: Заголовочный файл, содержащий определения, испульуемые во всей лабораторной работе 30

include/prng.h
: Заголовочный файл, в котором определяются классы генераторов 32

include/tests.h
: Заголовочный файл, содержащий объявления всех функций для вычисления значений и проведения тестов 33

include/external/cephes.h 31

src/nist_funcs.cpp
: Файл, содержащий реализации вспомогательных функций для nist-тестов 45

src/nist_tests.cpp
: Файл, содержащий реализации 5 nist-тестов 49

src/prng.cpp
: Файл, с определением методов классов генераторов 53

src/tests.cpp
: Файл, в котором определяются все функции, производящие оценки выборок и хи-квадрат тест 55

src/external/cephes.cpp 41

Глава 5

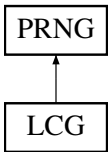
Классы

5.1 Класс LCG

Генератор, основанный на линейном конгруэнтном методе

#include <prng.h>

Граф наследования:LCG:



Открытые члены

- LCG ()=delete
  Запрет на конструктор по умолчанию
- LCG (uint32_t, uint32_t=0, uint32_t=-1)
- uint32_t generate () override
  Генерация следующего числа

Открытые члены унаследованные от PRNG

- void generate_sample (std::ostream &, int)
  Метод для генерации и записи в поток целой выборки

Закрытые данные

- uint32_t seed
  Семя генерации
- uint32_t k
  Коэффициент
- uint32_t b
  Смещение
- uint32_t M
  Модуль

Дополнительные унаследованные члены

Защищенные члены унаследованные от PRNG

- PRNG (uint32_t, uint32_t)
  Конструктор для базового абстрактного класса
- uint32_t result (uint32_t) const
  Метод для перевода сгенерированного числа в требуемый диапазон

Защищенные данные унаследованные от PRNG

- const uint32_t min_lim
  Нижняя граница генерации
- const uint32_t max_lim
  Верхняя граница генерации

5.1.1 Подробное описание

Генератор, основанный на линейном конгруэнтном методе

См. определение в файле prng.h строка 68

5.1.2 Конструктор(ы)

5.1.2.1 LCG()

```
LCG::LCG (
            uint32_t seed,
            uint32_t min_lim = 0,
            uint32_t max_lim = -1)
```

Аргументы

seed	Семя генерации
min_lim	Нижняя граница генерации
max_lim	Верхняя граница генерации

См. определение в файле prng.cpp строка 110

```
00112 : PRNG(min_lim, max_lim), seed(seed), k(1'103'515'245), b(12345), M(1«31) {}
```

5.1.3 Методы

5.1.3.1 generate()

uint32_t LCG::generate () [override], [virtual]

Генерация следующего числа

Возвращает

Следующее случайное число

Замещает PRNG.

См. определение в файле prng.cpp строка 117

```
00118 {
00119   seed = (seed * k + b) & (M-1); // Если M = 2^N
00120   // seed = (seed * k + b) % (M); // иначе
00121
00122   // (k-1) - делится на все простые делители M (2)
00123   // b и M взаимно простые
00124   // M делится на 4 и (k-1) делится на 4
00125   //
00126   // Поэтому у этого линейного конгруэнтного генератора макцимальная периодичность
00127
00128   return result(seed);
00129 }
```

5.1.4 Данные класса

5.1.4.1 b

uint32_t LCG::b [private]

Смещение

См. определение в файле prng.h строка 72

5.1.4.2 k

uint32_t LCG::k [private]

Коэффициент

См. определение в файле prng.h строка 71

5.1.4.3 M

uint32_t LCG::M [private]

Модуль

См. определение в файле prng.h строка 73

5.1.4.4 seed

uint32_t LCG::seed [private]

Семя генерации

См. определение в файле prng.h строка 70

Объявления и описания членов классов находятся в файлах:

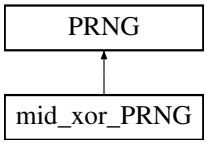
- include/prng.h
- src/prng.cpp

5.2 Класс mid_xor_PRNG

Генератор, основанный на среднем квадрата и Xor.

#include <prng.h>

Граф наследования:mid_xor_PRNG:



Открытые члены

- mid_xor_PRNG ()=delete
  Запрет на конструктор по умолчанию
- mid_xor_PRNG (uint32_t, uint32_t=0, uint32_t=-1)
  Конструктор класса mid_xor_PRNG.
- uint32_t generate () override
  Генерация следующего числа

Открытые члены унаследованные от PRNG

- void generate_sample (std::ostream &, int)
  Метод для генерации и записи в поток целой выборки

Закрытые данные

- uint32_t seed
  Семя генерации

Дополнительные унаследованные члены

Защищенные члены унаследованные от PRNG

- PRNG (uint32_t, uint32_t)
  Конструктор для базового абстрактного класса
- uint32_t result (uint32_t) const
  Метод для перевода сгенерированного числа в требуемый диапазон

Защищенные данные унаследованные от PRNG

- const uint32_t min_lim
  Нижняя граница генерации
- const uint32_t max_lim
  Верхняя граница генерации

5.2.1 Подробное описание

Генератор, основанный на среднем квадрата и Xor.

См. определение в файле prng.h строка 40

5.2.2 Конструктор(ы)

5.2.2.1 mid_xor_PRNG()

```
mid_xor_PRNG::mid_xor_PRNG (
                uint32_t seed,
                uint32_t min_lim = 0,
                uint32_t max_lim = -1)
```

Конструктор класса mid_xor_PRNG.

Аргументы

seed	Семя генерации
min_lim	Нижняя граница генерации
max_lim	Верхняя граница генерации

См. определение в файле prng.cpp строка 55
00056 : PRNG(min_lim, max_lim), seed(seed) {}

5.2.3 Методы

5.2.3.1 generate()

uint32_t mid_xor_PRNG::generate () [override], [virtual]

Генерация следующего числа

Возвращает

Следующее случайное число

Замещает PRNG.

См. определение в файле prng.cpp строка 61

```
00062 {
00063   uint64_t product = seed * seed;
00064
00065   seed  = (product » 8) & 0xFFFFFFFF;
00066
00067   // Динамический сдвиг для XorShift
00068   uint8_t shift = (seed » 10) & 0x1F; // Сдвиг от 0 до 31
00069   seed ^= 0x9E3779B9 « (shift % 13 + 1); // Чтобы не было вырождения в 0
00070   seed ^= seed » (shift % 17 + 1);
00071
00072   return result(seed);
00073 }
```

5.2.4 Данные класса

5.2.4.1 seed

uint32_t mid_xor_PRNG::seed [private]

Семя генерации

См. определение в файле prng.h строка 42

Объявления и описания членов классов находятся в файлах:

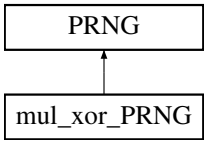
- include/prng.h
- src/prng.cpp

5.3 Класс mul_xor_PRNG

Генератор, основанный на произведении и Xor.

#include <prng.h>

Граф наследования:mul_xor_PRNG:



Открытые члены

- mul_xor_PRNG ()=delete
  Запрет на конструктор по умолчанию
- mul_xor_PRNG (uint32_t, uint32_t=0, uint32_t=-1)
- uint32_t generate () override
  Генерация следующего числа

Открытые члены унаследованные от PRNG

- void generate_sample (std::ostream &, int)
  Метод для генерации и записи в поток целой выборки

Закрытые данные

- uint32_t seed
  Семя генерации

Дополнительные унаследованные члены

Защищенные члены унаследованные от PRNG

- PRNG (uint32_t, uint32_t)
  Конструктор для базового абстрактного класса
- uint32_t result (uint32_t) const
  Метод для перевода сгенерированного числа в требуемый диапазон

Защищенные данные унаследованные от PRNG

- const uint32_t min_lim
  Нижняя граница генерации
- const uint32_t max_lim
  Верхняя граница генерации

5.3.1 Подробное описание

Генератор, основанный на произведении и Xor.

См. определение в файле prng.h строка 54

5.3.2 Конструктор(ы)

5.3.2.1 mul_xor_PRNG()

```
mul_xor_PRNG::mul_xor_PRNG (
            uint32_t seed,
            uint32_t min_lim = 0,
            uint32_t max_lim = -1)
```

Аргументы

seed	Семя генерации
min_lim	Нижняя граница генерации
max_lim	Верхняя граница генерации

См. определение в файле prng.cpp строка 85
```
00086 : PRNG(min_lim, max_lim), seed(seed) {}
```

5.3.3 Методы

5.3.3.1 generate()

uint32_t mul_xor_PRNG::generate () [override], [virtual]

Генерация следующего числа

Возвращает

Следующее случайное число

Замещает PRNG.

См. определение в файле prng.cpp строка 91
```
00092 {
00093   seed ^= seed << 13;
00094   seed ^= (seed >> 7) * 0x9AE77B3D;
00095   seed ^= (seed >> 5) | (seed << 17);
00096
00097   return result(seed);
00098 }
```

5.3.4 Данные класса

5.3.4.1 seed

uint32_t mul_xor_PRNG::seed [private]

Семя генерации

См. определение в файле prng.h строка 56

Объявления и описания членов классов находятся в файлах:

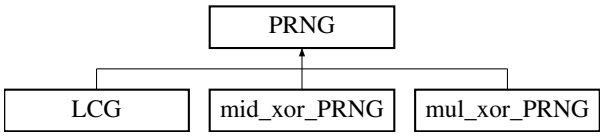
- include/prng.h
- src/prng.cpp

5.4 Класс PRNG

Абстрактный базовый класс генераторов

#include <prng.h>

Граф наследования:PRNG:



Открытые члены

- void generate_sample (std::ostream &, int)
  Метод для генерации и записи в поток целой выборки

Защищенные члены

- PRNG (uint32_t, uint32_t)
  Конструктор для базового абстрактного класса
- virtual uint32_t generate ()=0
  Чистая функция для генерации следующего числа
- uint32_t result (uint32_t) const
  Метод для перевода сгенерированного числа в требуемый диапазон

Защищенные данные

- const uint32_t min_lim
  Нижняя граница генерации
- const uint32_t max_lim
  Верхняя граница генерации

5.4.1 Подробное описание

Абстрактный базовый класс генераторов

См. определение в файле prng.h строка 19

5.4.2 Конструктор(ы)

5.4.2.1 PRNG()

```
PRNG::PRNG (
            uint32_t min_lim,
            uint32_t max_lim)   [protected]
```

Конструктор для базового абстрактного класса

Аргументы

min_lim	Нижняя граница генерации
max_lim	Верхняя граница генерации

См. определение в файле prng.cpp строка 19

```
00020 : min_lim(min_lim), max_lim(max_lim) {}
```

5.4.3 Методы

5.4.3.1 generate()

virtual uint32_t PRNG::generate () [protected], [pure virtual]

Чистая функция для генерации следующего числа

Замещается в LCG, mid_xor_PRNG и mul_xor_PRNG.

5.4.3.2 generate_sample()

void PRNG::generate_sample (
std::ostream & out,
int size)

Метод для генерации и записи в поток целой выборки

Аргументы

out	Поток для записи
size	Размер генерируемой выборки

См. определение в файле prng.cpp строка 26

```
00027 {
00028   for (int i=0; i < size; ++i)
00029   {
00030     out « this->generate() « std::endl;
00031   }
00032 }
```

5.4.3.3 result()

uint32_t PRNG::result (
uint32_t result) const [protected]

Метод для перевода сгенерированного числа в требуемый диапазон

Аргументы

result	Сгенерированное число

Возвращает

Сгенерированное число в требуемом диапазоне

См. определение в файле prng.cpp строка 38

```
00039 {
00040   return min_lim + result % (1ul + max_lim - min_lim); // поскольку max_lim - верхняя граница включительно, то
        нужно брать модуль +1
00041                                                       // (1 - unsigned long, чтобы не возникло переполнения и не было деления на 0)
00042 }
```

5.4.4 Данные класса

5.4.4.1 max_lim

const uint32_t PRNG::max_lim [protected]

Верхняя граница генерации

См. определение в файле prng.h строка 24

5.4.4.2 min_lim

const uint32_t PRNG::min_lim [protected]

Нижняя граница генерации

См. определение в файле prng.h строка 23

Объявления и описания членов классов находятся в файлах:

- include/prng.h
- src/prng.cpp

Глава 6

Файлы

6.1 Файл create_samples.cpp

Файл, предназначенный для генерации выборок разными генераторами

```
#include <filesystem>
#include <fstream>
#include <iostream>
#include <string>
#include <vector>
#include "include/prng.h"
#include "include/defs.h"
```

Функции

- template<class PRNG>
  void create_samples (std::string path, std::string prng_name, std::vector< int > &sizes, std::vector< int > &seeds, uint32_t min_lim, uint32_t max_lim)

  Функция для генерации выборок для одного из генераторов
- int main ()

  Основная функция, в которой происходит генерация выборок всеми генераторами

6.1.1 Подробное описание

Файл, предназначенный для генерации выборок разными генераторами

В этом файле генерируются выборки с помощью различных генераторов и записываются в соответствующе папки в папке ./samples

См. определение в файле create_samples.cpp

6.1.2 Функции

6.1.2.1 create_samples()

```
template<class PRNG>
void create_samples (
                std::string path,
                std::string prng_name,
                std::vector< int > & sizes,
                std::vector< int > & seeds,
                uint32_t min_lim,
                uint32_t max_lim)
```

Функция для генерации выборок для одного из генераторов

Параметры шаблона

PRNG	Класс используемого генератора. Наследник класса PRNG

Аргументы

path	Путь в котором будет создана папка с выборками
prng_name	Название генератора
sizes	Список размеров выборок
seeds	Список семян для генерации выборок. Размер списка должен делить количество размеров выборок
min_lim	Нижняя граница генерации
max_lim	Верхняя граница генерации

См. определение в файле create_samples.cpp строка 72

```
00075 {
00076
00077
00078   int mod;
00079
00080   // Проверка корректности размеров списков seeds и sizes
00081   if (sizes.size() == seeds.size())      mod = sizes.size();
00082   else if (sizes.size() % seeds.size() == 0) mod = sizes.size() / seeds.size();
00083   else
00084   {
00085     std::cerr « "! Неправильные размерности набора размеров и семян генераторов." « std::endl;
00086     return;
00087   }
00088
00089
00090   std::cout « "Generating samples by " + prng_name « std::endl;
00091
00092   // Создание папки для выборок
00093   fs::create_directory(path + prng_name);
00094
00095   // Цикл создания выборок
00096   for (int i=0; i < sizes.size(); ++i)
00097   {
00098
00099     // Создать файл выборки
00100     std::ofstream sample_file(path + prng_name + "/" + prng_name + "_" + std::to_string(i+1) + ".txt");
00101
00102     // Создать генератор с заданным семенем и границами
00103     PRNG prng (seeds.at(i % mod), min_lim, max_lim);
00104
00105     // Создать и записать выборку
00106     prng.generate_sample(sample_file, sizes.at(i));
00107
00108     // Закрыть файл выборки
00109     sample_file.close();
```

```
00110
00111     std::cout « "> Complete " + prng_name + "_" + std::to_string(i+1) + ".txt" « std::endl;
00112   }
00113
00114   std::endl(std::cout);
00115 }
```

6.1.2.2 main()

int main ()

Основная функция, в которой происходит генерация выборок всеми генераторами

См. определение в файле create_samples.cpp строка 31

```
00032 {
00033   std::ofstream sample_file;
00034
00035   // Создать папку для выборок, если её нет
00036   fs::create_directory(SAMPLES_DIR);
00037
00038
00039   // Размеры выборок
00040   std::vector<int> sizes =  { 1000,  1000,  1000,  1000,
00041                               2000,  2000,  2000,  2000,
00042                               3000,  3000,  3000,  3000,
00043                               5000,  5000,  5000,  5000,
00044                              10000, 10000, 10000, 10000};
00045
00046   // Семена генераторов
00047   std::vector<int> seeds =  {       42,  13973739, 323159976, 518977272,
00048                              667961784, 958390147, 567454690, 292832249,
00049                              583553826, 722672343, 621406124, 771825685,
00050                              398112944, 209114256, 242948276, 826041245,
00051                              573926780, 324066546, 454325408, 147431459};
00052
00053
00054   // Функции, в которых происходит генерация выборок для каждого из генераторов
00055   create_samples<mid_xor_PRNG> (SAMPLES_DIR, "mid_xor", sizes, seeds, MIN_LIM, MAX_LIM);
00056   create_samples<mul_xor_PRNG> (SAMPLES_DIR, "mul_xor", sizes, seeds, MIN_LIM, MAX_LIM);
00057   create_samples<LCG>          (SAMPLES_DIR, "lcg",     sizes, seeds, MIN_LIM, MAX_LIM);
00058
00059
00060   std::endl(std::cout);
00061 }
```

6.2 create_samples.cpp

См. документацию.

```
00001
00008
00009
00010
00011 #include <filesystem>
00012
00013 #include <fstream>
00014 #include <iostream>
00015
00016 #include <string>
00017 #include <vector>
00018
00019 #include "include/prng.h"
00020 #include "include/defs.h"
00021
00022
00023 namespace fs = std::filesystem;
00024
00025 template <class PRNG>
00026 void create_samples (std::string, std::string, std::vector<int>&, std::vector<int>&, uint32_t = 0, uint32_t = -1);
00027
00028
00029
00031 int main()
00032 {
00033   std::ofstream sample_file;
```

```
00034
00035  // Создать папку для выборок, если её нет
00036  fs::create_directory(SAMPLES_DIR);
00037
00038
00039  // Размеры выборок
00040  std::vector<int> sizes =  { 1000,  1000,  1000,  1000,
00041                              2000,  2000,  2000,  2000,
00042                              3000,  3000,  3000,  3000,
00043                              5000,  5000,  5000,  5000,
00044                             10000, 10000, 10000, 10000};
00045
00046  // Семена генераторов
00047  std::vector<int> seeds =  {       42,  13973739, 323159976, 518977272,
00048                            667961784, 958390147, 567454690, 292832249,
00049                            583553826, 722672343, 621406124, 771825685,
00050                            398112944, 209114256, 242948276, 826041245,
00051                            573926780, 324066546, 454325408, 147431459};
00052
00053
00054  // Функции, в которых происходит генерация выборок для каждого из генераторов
00055  create_samples<mid_xor_PRNG> (SAMPLES_DIR, "mid_xor", sizes, seeds, MIN_LIM, MAX_LIM);
00056  create_samples<mul_xor_PRNG> (SAMPLES_DIR, "mul_xor", sizes, seeds, MIN_LIM, MAX_LIM);
00057  create_samples<LCG>          (SAMPLES_DIR, "lcg",     sizes, seeds, MIN_LIM, MAX_LIM);
00058
00059
00060  std::endl(std::cout);
00061 }
00062
00071 template <class PRNG>
00072 void create_samples (std::string path, std::string prng_name,
00073                      std::vector<int>& sizes, std::vector<int>& seeds,
00074                      uint32_t min_lim, uint32_t max_lim)
00075 {
00076
00077
00078  int mod;
00079
00080  // Проверка корректности размеров списков seeds и sizes
00081  if (sizes.size() == seeds.size())      mod = sizes.size();
00082  else if (sizes.size() % seeds.size() == 0) mod = sizes.size() / seeds.size();
00083  else
00084  {
00085    std::cerr « "! Неправильные размерности набора размеров и семян генераторов." « std::endl;
00086    return;
00087  }
00088
00089
00090  std::cout « "Generating samples by " + prng_name « std::endl;
00091
00092  // Создание папки для выборок
00093  fs::create_directory(path + prng_name);
00094
00095  // Цикл создания выборок
00096  for (int i=0; i < sizes.size(); ++i)
00097  {
00098
00099    // Создать файл выборки
00100    std::ofstream sample_file(path + prng_name + "/" + prng_name + "_" + std::to_string(i+1) + ".txt");
00101
00102    // Создать генератор с заданным семенем и границами
00103    PRNG prng (seeds.at(i % mod), min_lim, max_lim);
00104
00105    // Создать и записать выборку
00106    prng.generate_sample(sample_file, sizes.at(i));
00107
00108    // Закрыть файл выборки
00109    sample_file.close();
00110
00111    std::cout « "> Complete " + prng_name + "_" + std::to_string(i+1) + ".txt" « std::endl;
00112  }
00113
00114  std::endl(std::cout);
00115 }
00116
```

6.3 Файл get_results.cpp

Файл для вычисления измерений и проведения тестов над выборками

#include <filesystem>
#include <fstream>

#include <iostream>
#include <vector>
#include <string>
#include <algorithm>
#include "include/tests.h"
#include "include/defs.h"

Функции

- void process_sample (std::istream &sample_file, std::vector< std::string > &vector)

  Функция для полной обработки выбороки генератора
- int main ()

  Основная функция, в которой произвоится вычисление всех значений и проведение тестов для всех выборок всех генераторов

6.3.1 Подробное описание

Файл для вычисления измерений и проведения тестов над выборками

В этом файле происходит вычисление Среднего, стандартного отклонения, коэффициента вариации, тест хи-квадрат, а также 5 nist-тестов.

Среди nist-тестов:

- Частотный побитовый тест
- Тест на последовательность одинаковых битов
- Тест на периодичность
- Тест приблизительной энтропии
- Тест кумулятивных сумм

См. определение в файле get_results.cpp

6.3.2 Функции

6.3.2.1 main()

int main ()

Основная функция, в которой произвоится вычисление всех значений и проведение тестов для всех выборок всех генераторов

См. определение в файле get_results.cpp строка 36

```
00037 {
00038
00039   std::ifstream sample_file;
00040   std::ofstream result_file;
00041
00042
00043   // Цикл прохождения по содержимому главной папки с выборками
00044   for (auto const& dir_entry : fs::directory_iterator(SAMPLES_DIR))
00045   {
```

```
00046     // Обрабатываем только папки с выборками генераторов
00047     if (!dir_entry.is_directory()) continue;
00048
00049     // Получаем имя генератора
00050     std::string subdir_name = dir_entry.path().filename().string();
00051
00052     std::cout « "Processing " « subdir_name « std::endl;
00053
00054     // Подготавливаем файл для записи результатов
00055     result_file.open(SAMPLES_DIR + subdir_name + "/" + subdir_name + "_results.csv");
00056     result_file « "No,Size,"
00057                 "Mean,"
00058                 "StdDev,"
00059                 "CV,"
00060                 "Chi2,Chi2 df,"
00061                 "NIST frequency,frequency status,"
00062                 "NIST runs,runs status,"
00063                 "NIST serial,serial block size,serial status,"
00064                 "NIST approximate entropy,ApEn block size,ApEn status,"
00065                 "NIST cusum,cusum status\n";
00066
00067
00068     // Проход по файлам папки произвольный, поэтому чтобы сохранить очерёдность будем временно сохранять
    результаты в вектор
00069     std::vector< std::pair< int,std::vector<std::string> » result_vector;
00070
00071
00072
00073     // Цикл для прохода по всем выборкам генератора
00074     for (auto const& subdir_entry : fs::directory_iterator(SAMPLES_DIR + subdir_name))
00075     {
00076       // Файл для записи результата игнорируем
00077       if (subdir_entry.path().extension().string() == ".csv") continue;
00078
00079       // Открываем файл выборки
00080       sample_file.open(subdir_entry.path());
00081
00082       std::string subdir_entry_stem = subdir_entry.path().stem().string();
00083
00084       std::cout « "> Processing " « subdir_entry_stem « std::endl;
00085
00086
00087       // Вектор для временного хранения реультатов
00088       std::pair<int,std::vector<std::string» sample_result;
00089
00090       sample_result.first = std::stoi(subdir_entry_stem.substr(subdir_entry_stem.rfind("_") + 1));
00091
00092       // Обрабатываем выборку
00093       process_sample(sample_file, sample_result.second);
00094
00095       // Сохраняем результат
00096       result_vector.push_back(sample_result);
00097
00098
00099       sample_file.close();
00100     }
00101
00102
00103     // Сортируем результаты по увеличению номера выборки
00104     std::sort( result_vector.begin(), result_vector.end(), [](auto& el1, auto& el2){ return el1.first < el2.first; } );
00105
00106     // Записываем результаты в файл
00107     for (auto& pair : result_vector)
00108     {
00109       result_file « pair.first;
00110
00111       for (auto& val : pair.second)
00112       {
00113         result_file « ',' « val;
00114       }
00115       result_file « std::endl;
00116     }
00117
00118     // Закрываем файл результатов генератора
00119     result_file.close();
00120
00121     std::endl(std::cout);
00122   }
00123
00124
00125   std::endl(std::cout);
00126
00127 }
```

6.3.2.2 process_sample()

```
void process_sample (
                std::istream & sample_file,
                std::vector< std::string > & vector)
```

Функция для полной обработки выбороки генератора

Аргументы

sample_file	Файл выборки
vector	Вектор для хранения найденных результатов

См. определение в файле get_results.cpp строка 133

```
00134 {
00135   // Записываем выборку в вектор для удобства
00136   std::vector<unsigned int> sample;
00137   unsigned int num;
00138
00139   while (true)
00140   {
00141     sample_file » num;
00142     if (sample_file.eof()) break;
00143
00144     sample.push_back(num);
00145   }
00146
00147
00148
00149   vector.push_back( std::to_string(sample.size()) );      // Записываем размер выборки
00150   vector.push_back( std::to_string(get_mean(sample)) );   // Записываем среднее выборки
00151   vector.push_back( std::to_string(get_stdDev(sample)) ); // Записываем стандартное отклонение выборки
00152   vector.push_back( std::to_string(get_cv(sample)) );     // Записываем коэффициент вариации выборки
00153
00154   auto chi2_pair = get_chi2(sample);  // Проводим хи-квадрат тест
00155   vector.push_back( chi2_pair.first  == -1 ? "N/A" : std::to_string(chi2_pair.first)  );  // Записываем результат или
      N/A в случае ошибки
00156   vector.push_back( chi2_pair.second == -1 ? "N/A" : std::to_string(chi2_pair.second) );  // Записываем количество
      степеней свободы или N/A в случае ошибки
00157
00158
00159   // Переводим вектор чисел в последовательность бит для проведения nist-тестов
00160   std::vector<bool> bit_sequence = sample_to_bit_sequence(sample);
00161
00162   double frequency = nist_frequency(bit_sequence);  // Проводим частотный побитовый тест
00163   vector.push_back( std::to_string(frequency) );             // Записываем полученное значение p_value
00164   vector.push_back( (frequency >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" ); // Записываем результат теста
00165
00166   double runs = nist_runs(bit_sequence);  // Проводим тест на последовательность одинаковых битов
00167   vector.push_back( std::to_string(runs) );              // Записываем полученное значение p_value
00168   vector.push_back( (runs >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" );  // Записываем результат теста
00169
00170   double serial = nist_serial(bit_sequence, SERIAL_M); // Проводим тест на периодичность
00171   vector.push_back( std::to_string(serial) );              // Записываем полученное значение p_value
00172   vector.push_back( std::to_string(SERIAL_M) );            // Записываем длину рассматриваемого блока
00173   vector.push_back( (serial >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" );  // Записываем результат теста
00174
00175   double apEntropy = nist_apEntropy(bit_sequence, AP_ENTROPY_M);  // Проводим тест приблизительной
      энтропии
00176   vector.push_back( std::to_string(apEntropy) );             // Записываем полученное значение p_value
00177   vector.push_back( std::to_string(AP_ENTROPY_M) );          // Записываем длину рассматриваемого блока
00178   vector.push_back( (apEntropy >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" ); // Записываем результат теста
00179
00180   double cusum = nist_cusum(bit_sequence);  // Проводим тест кумулятивных сумм
00181   vector.push_back( std::to_string(cusum) );             // Записываем полученное значение p_value
00182   vector.push_back( (cusum >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" ); // Записываем результат теста
00183
00184
00185 }
```

6.4 get_results.cpp

См. документацию.

```
00001
00015
00016 #include <filesystem>
00017
00018 #include <fstream>
00019 #include <iostream>
00020
00021 #include <vector>
00022 #include <string>
00023 #include <algorithm>
00024
00025 #include "include/tests.h"
00026 #include "include/defs.h"
00027
00028
00029
00030 namespace fs = std::filesystem;
00031
00032
00033 void process_sample (std::istream&, std::vector<std::string>&);
00034
00036 int main ()
00037 {
00038
00039   std::ifstream sample_file;
00040   std::ofstream result_file;
00041
00042
00043   // Цикл прохождения по содержимому главной папки с выборками
00044   for (auto const& dir_entry : fs::directory_iterator(SAMPLES_DIR))
00045   {
00046     // Обрабатываем только папки с выборками генераторов
00047     if (!dir_entry.is_directory()) continue;
00048
00049     // Получаем имя генератора
00050     std::string subdir_name = dir_entry.path().filename().string();
00051
00052     std::cout « "Processing " « subdir_name « std::endl;
00053
00054     // Подготавливаем файл для записи результатов
00055     result_file.open(SAMPLES_DIR + subdir_name + "/" + subdir_name + "_results.csv");
00056     result_file « "No,Size,"
00057                   "Mean,"
00058                   "StdDev,"
00059                   "CV,"
00060                   "Chi2,Chi2 df,"
00061                   "NIST frequency,frequency status,"
00062                   "NIST runs,runs status,"
00063                   "NIST serial,serial block size,serial status,"
00064                   "NIST approximate entropy,ApEn block size,ApEn status,"
00065                   "NIST cusum,cusum status\n";
00066
00067
00068     // Проход по файлам папки произвольный, поэтому чтобы сохранить очерёдность будем временно сохранять
    результаты в вектор
00069     std::vector< std::pair< int,std::vector<std::string> » result_vector;
00070
00071
00072
00073     // Цикл для прохода по всем выборкам генератора
00074     for (auto const& subdir_entry : fs::directory_iterator(SAMPLES_DIR + subdir_name))
00075     {
00076       // Файл для записи результата игнорируем
00077       if (subdir_entry.path().extension().string() == ".csv") continue;
00078
00079       // Открываем файл выборки
00080       sample_file.open(subdir_entry.path());
00081
00082       std::string subdir_entry_stem = subdir_entry.path().stem().string();
00083
00084       std::cout « "> Processing " « subdir_entry_stem « std::endl;
00085
00086
00087       // Вектор для временного хранения реультатов
00088       std::pair<int,std::vector<std::string» sample_result;
00089
00090       sample_result.first = std::stoi(subdir_entry_stem.substr(subdir_entry_stem.rfind("_") + 1));
00091
00092       // Обрабатываем выборку
00093       process_sample(sample_file, sample_result.second);
00094
00095       // Сохраняем результат
00096       result_vector.push_back(sample_result);
00097
00098
00099       sample_file.close();
00100     }
```

```
00101
00102
00103     // Сортируем результаты по увеличению номера выборки
00104     std::sort( result_vector.begin(), result_vector.end(), [](auto& el1, auto& el2){ return el1.first < el2.first; } );
00105
00106     // Записываем результаты в файл
00107     for (auto& pair : result_vector)
00108     {
00109       result_file « pair.first;
00110
00111       for (auto& val : pair.second)
00112       {
00113         result_file « ',' « val;
00114       }
00115       result_file « std::endl;
00116     }
00117
00118     // Закрываем файл результатов генератора
00119     result_file.close();
00120
00121     std::endl(std::cout);
00122   }
00123
00124
00125   std::endl(std::cout);
00126
00127 }
00128
00129
00133 void process_sample (std::istream& sample_file, std::vector<std::string>& vector)
00134 {
00135   // Записываем выборку в вектор для удобства
00136   std::vector<unsigned int> sample;
00137   unsigned int num;
00138
00139   while (true)
00140   {
00141     sample_file » num;
00142     if (sample_file.eof()) break;
00143
00144     sample.push_back(num);
00145   }
00146
00147
00148
00149   vector.push_back( std::to_string(sample.size()) );      // Записываем размер выборки
00150   vector.push_back( std::to_string(get_mean(sample)) );   // Записываем среднее выборки
00151   vector.push_back( std::to_string(get_stdDev(sample)) ); // Записываем стандартное отклонение выборки
00152   vector.push_back( std::to_string(get_cv(sample)) );     // Записываем коэффициент вариации выборки
00153
00154   auto chi2_pair = get_chi2(sample);  // Проводим хи-квадрат тест
00155   vector.push_back( chi2_pair.first  == -1 ? "N/A" : std::to_string(chi2_pair.first)  );  // Записываем результат или
      N/A в случае ошибки
00156   vector.push_back( chi2_pair.second == -1 ? "N/A" : std::to_string(chi2_pair.second) );  // Записываем количество
      степеней свободы или N/A в случае ошибки
00157
00158
00159   // Переводим вектор чисел в последовательность бит для проведения nist-тестов
00160   std::vector<bool> bit_sequence = sample_to_bit_sequence(sample);
00161
00162   double frequency = nist_frequency(bit_sequence);  // Проводим частотный побитовый тест
00163   vector.push_back( std::to_string(frequency) );              // Записываем полученное значение p_value
00164   vector.push_back( (frequency >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" ); // Записываем результат теста
00165
00166   double runs = nist_runs(bit_sequence);  // Проводим тест на последовательность одинаковых битов
00167   vector.push_back( std::to_string(runs) );               // Записываем полученное значение p_value
00168   vector.push_back( (runs >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" );  // Записываем результат теста
00169
00170   double serial = nist_serial(bit_sequence, SERIAL_M); // Проводим тест на периодичность
00171   vector.push_back( std::to_string(serial) );               // Записываем полученное значение p_value
00172   vector.push_back( std::to_string(SERIAL_M) );             // Записываем длину рассматриваемого блока
00173   vector.push_back( (serial >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" );  // Записываем результат теста
00174
00175   double apEntropy = nist_apEntropy(bit_sequence, AP_ENTROPY_M);  // Проводим тест приблизительной
      энтропии
00176   vector.push_back( std::to_string(apEntropy) );              // Записываем полученное значение p_value
00177   vector.push_back( std::to_string(AP_ENTROPY_M) );           // Записываем длину рассматриваемого блока
00178   vector.push_back( (apEntropy >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" ); // Записываем результат теста
00179
00180   double cusum = nist_cusum(bit_sequence);  // Проводим тест кумулятивных сумм
00181   vector.push_back( std::to_string(cusum) );              // Записываем полученное значение p_value
00182   vector.push_back( (cusum >= ALPHA) ? "PASS" : "FAIL" ); // Записываем результат теста
00183
00184
00185 }
00186
00187
```

6.5 Файл include/defs.h

Заголовочный файл, содержащий определения, испульзуемые во всей лабораторной работе

Макросы

- #define SAMPLES_DIR "./samples/"
  Папка, в которой создаются выборки
- #define MIN_LIM 0
  Нижняя граница генерации чисел генераторами
- #define MAX_LIM 4095
  Верхняя граница генерации чисел генераторами
- #define ALPHA 0.01
  Уровень значимости для nist-тестов
- #define SERIAL_M 2
  Длина блока в тесте на периодичность
- #define AP_ENTROPY_M 2
  Длина блока в тесте приблизительной энтропии

6.5.1 Подробное описание

Заголовочный файл, содержащий определения, испульзуемые во всей лабораторной работе

См. определение в файле defs.h

6.5.2 Макросы

6.5.2.1 ALPHA

#define ALPHA 0.01

Уровень значимости для nist-тестов

См. определение в файле defs.h строка 15

6.5.2.2 AP_ENTROPY_M

#define AP_ENTROPY_M 2

Длина блока в тесте приблизительной энтропии

См. определение в файле defs.h строка 17

6.5.2.3 MAX_LIM

#define MAX_LIM 4095

Верхняя граница генерации чисел генераторами

См. определение в файле defs.h строка 13

6.5.2.4 MIN_LIM

#define MIN_LIM 0

Нижняя граница генерации чисел генераторами

См. определение в файле defs.h строка 12

6.5.2.5 SAMPLES_DIR

#define SAMPLES_DIR "./samples/"

Папка, в которой создаются выборки

См. определение в файле defs.h строка 10

6.5.2.6 SERIAL_M

#define SERIAL_M 2

Длина блока в тесте на периодичность

См. определение в файле defs.h строка 16

6.6 defs.h

См. документацию.

```
00001
00005
00006
00007 #ifndef DEFS_H
00008 #define DEFS_H
00009
00010 #define SAMPLES_DIR "./samples/"
00011
00012 #define MIN_LIM 0
00013 #define MAX_LIM 4095
00014
00015 #define ALPHA 0.01
00016 #define SERIAL_M 2
00017 #define AP_ENTROPY_M 2
00018
00019
00020 #endif // DEFS_H
```

6.7 cephes.h

```
00001
00002 #ifndef _CEPHES_H_
00003 #define _CEPHES_H_
00004
00005 double cephes_igamc(double a, double x);
00006 double cephes_igam(double a, double x);
00007 double cephes_lgam(double x);
00008 double cephes_p1evl(double x, double *coef, int N);
00009 double cephes_polevl(double x, double *coef, int N);
00010 double cephes_erf(double x);
00011 double cephes_erfc(double x);
00012 double cephes_normal(double x);
00013
00014 #endif /*  _CEPHES_H_  */
```

6.8 Файл include/prng.h

Заголовочный файл, в котором определяются классы генераторов.

#include <cstdint>

Классы

- class PRNG
  Абстрактный базовый класс генераторов
- class mid_xor_PRNG
  Генератор, основанный на среднем квадрата и Xor.
- class mul_xor_PRNG
  Генератор, основанный на произведении и Xor.
- class LCG
  Генератор, основанный на линейном конгруэнтном методе

6.8.1 Подробное описание

Заголовочный файл, в котором определяются классы генераторов.

Объявляемые классы:

- PRNG
- mid_xor_PRNG
- mul_xor_PRNG
- LCG

См. определение в файле prng.h

6.9 prng.h

См. документацию.

```
00001
00011
00012 #ifndef PRNG_H
00013 #define PRNG_H
00014
00015 #include <cstdint> // для типов int
00016
00017
00019 class PRNG
00020 {
00021
00022 protected:
00023   const uint32_t min_lim;
00024   const uint32_t max_lim;
00025
00026   PRNG (uint32_t, uint32_t);
00027
00028   virtual uint32_t generate() = 0;
00029
00030   uint32_t result(uint32_t) const;
00031
```

```
00032 public:
00033   void generate_sample(std::ostream&, int);
00034
00035 };
00036
00037
00038
00040 class mid_xor_PRNG: public PRNG
00041 {
00042   uint32_t seed;
00043
00044
00045 public:
00046   mid_xor_PRNG () = delete;
00047   mid_xor_PRNG ( uint32_t, uint32_t = 0, uint32_t = -1);
00048
00049   uint32_t generate() override;
00050 };
00051
00052
00054 class mul_xor_PRNG: public PRNG
00055 {
00056   uint32_t seed;
00057
00058
00059 public:
00060   mul_xor_PRNG () = delete;
00061   mul_xor_PRNG ( uint32_t, uint32_t = 0, uint32_t = -1);
00062
00063   uint32_t generate() override;
00064 };
00065
00066
00068 class LCG: public PRNG
00069 {
00070   uint32_t seed;
00071   uint32_t k;
00072   uint32_t b;
00073   uint32_t M;
00074
00075
00076 public:
00077   LCG () = delete;
00078   LCG ( uint32_t, uint32_t = 0, uint32_t = -1);
00079
00080   uint32_t generate() override;
00081 };
00082
00083
00084 #endif // PRNG_H
```

6.10 Файл include/tests.h

Заголовочный файл, содержащий объявления всех функций для вычисления значений и проведения тестов

#include <vector>

Функции

- double get_mean (std::vector< unsigned int > &)

  Оценка выборки на среднее значение
- double get_stdDev (std::vector< unsigned int > &)

  Оценка выборки на стандартное отклонение
- double get_cv (std::vector< unsigned int > &)

  Оценка выборки на коэффициент вариации
- std::pair< double, int > get_chi2 (std::vector< unsigned int > &)

  Тест хи-квадрат
- std::vector< bool > sample_to_bit_sequence (std::vector< unsigned int > &)

Функция, преобразовывающая вектор выборки в последовательность битов этой выборки

- std::vector< unsigned int > get_pattern_counts (std::vector< bool > &, int)

  Функция, которая выявляет паттерны битов заданной длины в последовательности и считает их количество
- double get_psi2 (std::vector< bool > &, int)

  Вспомогательная функция теста на периодичность
- double get_apEn (std::vector< bool > &, int)

  Вспомогательная функциятеста приблизительной энтропии
- double nist_frequency (std::vector< bool > &)

  Частотный побитовый тест
- double nist_runs (std::vector< bool > &)

  Тест на последовательность одинаковых битов
- double nist_serial (std::vector< bool > &, int)

  Тест на периодичность
- double nist_apEntropy (std::vector< bool > &, int)

  Тест приблизительной энтропии
- double nist_cusum (std::vector< bool > &)

  Тест кумулятивных сумм

6.10.1 Подробное описание

Заголовочный файл, содержащий объявления всех функций для вычисления значений и проведения тестов

См. определение в файле tests.h

6.10.2 Функции

6.10.2.1 get_apEn()

```
double get_apEn (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Вспомогательная функциятеста приблизительной энтропии

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов
m	Длина блока

Возвращает

Искомое значение

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 89

```
00090 {
00091   std::vector<unsigned int> pattern_counts = get_pattern_counts(bit_seq, m);
00092
00093   double apEn = 0;
00094
00095   for ( auto count : pattern_counts)
00096   {
00097     double p = (double)count / bit_seq.size();
00098     apEn += (p > std::pow(10,-6)) ? (p * std::log(p)) : 0;
00099   }
00100
00101   return apEn;
00102 }
```

6.10.2.2 get_chi2()

```
std::pair< double, int > get_chi2 (
                std::vector< unsigned int > & vec)
```

Тест хи-квадрат

Аргументы

vec	Верктор выборки

Возвращает

Пара значений (значение хи-квадрат, количество степеней свободы)

См. определение в файле tests.cpp строка 56

```
00057 {
00058   if (vec.empty())
00059     return {-1,-1};
00060
00061   auto min_val = *std::min_element(vec.begin(), vec.end()); // Наименьший элемент выборки
00062   auto max_val = *std::max_element(vec.begin(), vec.end()); // Наибольший элемент выборки
00063
00064   int bin_number =  1 + std::log2(vec.size());            // Количество промежутков по правилу Стерджеса
00065   float bin_width = (float)(max_val-min_val)/bin_number;  // Ширина промежутка
00066
00067   float expected = (float)vec.size() / bin_number;  // Количество ожидаемых наблюдений в каждом промежутке
00068   std::vector<int> observed(bin_number, 0);         // Количество фактических наблюдений в каждом промежутке
00069
00070
00071   for ( auto val : vec )
00072   {
00073     int bin_ind = (int) ((val - min_val) / bin_width);
00074     if (bin_ind >= bin_number) --bin_ind;
00075
00076     ++observed.at(bin_ind);
00077   }
00078
00079
00080   double chi2 = 0;
00081
00082   for ( auto obs : observed)
00083   {
00084     chi2 += (obs - expected) * (obs - expected) / expected;
00085   }
00086
00087   return {chi2, bin_number-1};
00088
00089 }
```

6.10.2.3 get_cv()

```
double get_cv (
                std::vector< unsigned int > & vec)
```

Оценка выборки на коэффициент вариации

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Коэффициент вариации

См. определение в файле tests.cpp строка 47

```
00048 {
00049   return get_stdDev(vec) / get_mean(vec);
00050 }
```

6.10.2.4 get_mean()

```
double get_mean (
            std::vector< unsigned int > & vec)
```

Оценка выборки на среднее значение

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Среднее значение

См. определение в файле tests.cpp строка 14

```
00015 {
00016   double sum = 0;
00017
00018   for ( auto& num : vec )
00019   {
00020     sum += num;
00021   }
00022
00023   return sum / vec.size();
00024 }
```

6.10.2.5 get_pattern_counts()

```
std::vector< unsigned int > get_pattern_counts (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Функция, которая выявляет паттерны битов заданной длины в последовательности и считает их количество

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов
m	Длина паттерна

Возвращает

Количество встреченных паттернов одного вида. Паттерну, являющемуся двоичным представление числа num, соответствует индекс num

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 43

```
00044 {
00045   std::vector<unsigned int> pattern_counts(1<<m, 0);
00046
00047   for (int i=0; i < bit_seq.size(); ++i)
00048   {
00049     int k=0;
00050     for (int j = m-1; j >= 0; --j)  // Проходимся в обратном порядке для эстетичности, чтобы паттерн равный числу I
       был записан под индексом I
00051     {
00052       if (bit_seq.at((i+j) % bit_seq.size()))   k = 2*k + 1;
00053       else                                      k = 2*k;
00054     }
00055     ++pattern_counts[k];
00056   }
00057
00058   return pattern_counts;
00059 }
```

6.10.2.6 get_psi2()

```
double get_psi2 (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Вспомогательная функция теста на периодичность

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов
m	Длина блока

Возвращает

Искомое значение

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 66

```
00067 {
00068   std::vector<unsigned int> pattern_counts = get_pattern_counts(bit_seq, m);
00069
00070
00071   int expected = bit_seq.size() / (1 « m);
00072
00073   double sum = 0;
00074   for ( auto count : pattern_counts)
00075   {
00076     sum += (count - expected) * (count - expected);
00077   }
00078
00079   sum = ( sum * (1 « m) ) / bit_seq.size() - bit_seq.size();
00080
00081   return sum;
00082 }
```

6.10.2.7 get_stdDev()

```
double get_stdDev (
            std::vector< unsigned int > & vec)
```

Оценка выборки на стандартное отклонение

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Стандартное отклонение

См. определение в файле tests.cpp строка 30

```
00031 {
00032   unsigned long sum = 0;
00033   auto mean = get_mean(vec);
00034
00035   for ( auto& num : vec )
00036   {
00037     sum += (num - mean) * (num - mean);
00038   }
00039
00040   return std::sqrt(sum / vec.size());
00041 }
```

6.10.2.8 nist_apEntropy()

```
double nist_apEntropy (
                std::vector< bool > & bit_seq,
                int m)
```

Тест приблизительной энтропии

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки
m	Длина рассматриваемого блока бит

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 94

```
00095 {
00096   double apEn_m  = get_apEn(bit_seq, m);
00097   double apEn_m1 = get_apEn(bit_seq, m+1);
00098
00099   double apEn = apEn_m - apEn_m1;
00100   double chi2 = 2 * bit_seq.size() * (std::log(2) - apEn);
00101
00102   double p_value = cephes_igamc(1 << (m-1), chi2/2);
00103   return p_value;
00104 }
```

6.10.2.9 nist_cusum()

```
double nist_cusum (
                std::vector< bool > & bit_seq)
```

Тест кумулятивных сумм

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 109

```
00110 {
00111   int S = 0;
00112   int max_S = 0;
00113
00114
00115   for ( auto bit : bit_seq )
00116   {
00117     bit ? ++S : --S;
00118     max_S = (std::abs(S) > max_S) ? std::abs(S) : max_S;
00119   }
00120
00121   double p_value = std::erfc(max_S / std::sqrt(2 * bit_seq.size()));
00122
00123   return p_value;
00124 }
```

6.10.2.10 nist_frequency()

```
double nist_frequency (
                std::vector< bool > & bit_seq)
```

Частотный побитовый тест

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 29

```
00030 {
00031   int sum = 0;
00032
00033   for (auto bit : bit_seq)
00034   {
00035     bit ? ++sum : --sum; // Итого: ++sum, если бит - 1, иначе --sum
00036   }
00037
00038   double s_obs = std::abs(sum) / std::sqrt(bit_seq.size());
00039   double p_value = std::erfc(s_obs / std::sqrt(2));
00040
00041   return p_value;
00042 }
```

6.10.2.11 nist_runs()

```
double nist_runs (
                std::vector< bool > & bit_seq)
```

Тест на последовательность одинаковых битов

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 48

```
00049 {
00050
00051   int sum = std::count(bit_seq.begin(), bit_seq.end(), true);
00052
00053   double pi = (double)sum / bit_seq.size();
00054
00055   if (fabs(pi - 0.5) >= 2 / std::sqrt(bit_seq.size()))
00056   {
00057     std::cerr « "»> Не выполнен критерий для runs теста" « std::endl;
00058     return 0;
00059   }
00060
00061
00062   int runs = 1;
00063   for (int i=1; i < bit_seq.size(); ++i)
00064   {
00065     if (bit_seq.at(i) != bit_seq.at(i-1))
00066       ++runs;
00067   }
00068
00069   double erfc_arg = fabs(runs - 2.0 * bit_seq.size() * pi * (1-pi)) / (2.0 * pi * (1-pi) * sqrt(2*bit_seq.size()));
00070     double p_value = erfc(erfc_arg);
00071
00072   return p_value;
00073
00074 }
```

6.10.2.12 nist_serial()

```
double nist_serial (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Тест на периодичность

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки
m	Длина рассматриваемого блока бит

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 80

```
00081 {
00082   double psi_m   = get_psi2(bit_seq, m);
00083   double psi_m_1 = get_psi2(bit_seq, m-1);
00084
00085
00086   double p_value = cephes_igamc(1 « (m-2), (psi_m - psi_m_1)/2);
00087   return p_value;
00088 }
```

6.10.2.13 sample_to_bit_sequence()

```
std::vector< bool > sample_to_bit_sequence (
            std::vector< unsigned int > & vec)
```

Функция, преобразовывающая вектор выборки в последовательность битов этой выборки

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Последовательность битов

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 18

```
00019 {
00020   int max_len = 1 + std::log2(MAX_LIM); // Находим наибольший бит, который может принять значение 1
00021                                         // Старшие биты всегда будут 0, что будет нарушать тесты, поэтому обрубаем их
00022
00023   std::vector<bool> bit_seq;
00024
00025   for (auto num : vec)
00026   {
00027     for (int i=0; i < max_len; ++i)
00028     {
00029       bit_seq.push_back(num » i & 1); // биты хранятся в обратном порядке, т.е. чем меньше индекс, тем младше бит
00030     }
00031   }
00032
00033   return bit_seq;
00034
00035
00036 }
```

6.11 tests.h

См. документацию.

```
00001
00005
00006
00007 #ifndef TESTS_H
00008 #define TESTS_H 1
00009
00010
00011 #include <vector>
00012
00013 double get_mean ( std::vector<unsigned int>& );
00014 double get_stdDev ( std::vector<unsigned int>& );
00015 double get_cv ( std::vector<unsigned int>& );
00016
00017 std::pair<double, int> get_chi2 ( std::vector<unsigned int>& );
00018
00019
00020 std::vector<bool> sample_to_bit_sequence ( std::vector<unsigned int>& );
00021
00022 std::vector<unsigned int> get_pattern_counts ( std::vector<bool>&, int );
00023 double get_psi2 ( std::vector<bool>&, int );
00024 double get_apEn  ( std::vector<bool>&, int );
00025
00026
00027 double nist_frequency ( std::vector<bool>& );
00028 double nist_runs ( std::vector<bool>& );
00029 double nist_serial ( std::vector<bool>&, int );
00030 double nist_apEntropy ( std::vector<bool>&, int );
00031 double nist_cusum ( std::vector<bool>& );
00032
00033
00034 #endif // TESTS_H
```

6.12 cephes.cpp

```
00001 #include <stdio.h>
00002 #include <math.h>
00003 #include "../../include/external/cephes.h"
00004
00005 static const double rel_error = 1E-12;
00006
00007 double MACHEP = 1.11022302462515654042E-16;      // 2**-53
00008 double MAXLOG = 7.09782712893383996732224E2;    // log(MAXNUM)
00009 double MAXNUM = 1.7976931348623158E308;         // 2**1024*(1-MACHEP)
00010 double PI     = 3.14159265358979323846;         // pi, duh!
00011
00012 static double big = 4.503599627370496e15;
00013 static double biginv =  2.22044604925031308085e-16;
00014
00015 int sgngam = 0;
00016
00017 double
00018 cephes_igamc(double a, double x)
00019 {
00020     double ans, ax, c, yc, r, t, y, z;
00021     double pk, pkm1, pkm2, qk, qkm1, qkm2;
00022
00023     if ( (x <= 0) || ( a <= 0) )
00024         return( 1.0 );
00025
00026     if ( (x < 1.0) || (x < a) )
00027         return( 1.e0 - cephes_igam(a,x) );
00028
00029     ax = a * log(x) - x - cephes_lgam(a);
00030
00031     if ( ax < -MAXLOG ) {
00032         printf("igamc: UNDERFLOW\n");
00033         return 0.0;
00034     }
00035     ax = exp(ax);
00036
00037     /* continued fraction */
00038     y = 1.0 - a;
00039     z = x + y + 1.0;
00040     c = 0.0;
00041     pkm2 = 1.0;
00042     qkm2 = x;
00043     pkm1 = x + 1.0;
```

```
00044     qkm1 = z * x;
00045     ans = pkm1/qkm1;
00046
00047     do {
00048         c += 1.0;
00049         y += 1.0;
00050         z += 2.0;
00051         yc = y * c;
00052         pk = pkm1 * z  -  pkm2 * yc;
00053         qk = qkm1 * z  -  qkm2 * yc;
00054         if ( qk != 0 ) {
00055             r = pk/qk;
00056             t = fabs( (ans - r)/r );
00057             ans = r;
00058         }
00059         else
00060             t = 1.0;
00061         pkm2 = pkm1;
00062         pkm1 = pk;
00063         qkm2 = qkm1;
00064         qkm1 = qk;
00065         if ( fabs(pk) > big ) {
00066             pkm2 *= biginv;
00067             pkm1 *= biginv;
00068             qkm2 *= biginv;
00069             qkm1 *= biginv;
00070         }
00071     } while ( t > MACHEP );
00072
00073     return ans*ax;
00074 }
00075
00076 double
00077 cephes_igam(double a, double x)
00078 {
00079     double ans, ax, c, r;
00080
00081     if ( (x <= 0) || ( a <= 0) )
00082         return 0.0;
00083
00084     if ( (x > 1.0) && (x > a ) )
00085         return 1.e0 - cephes_igamc(a,x);
00086
00087     /* Compute  x**a * exp(-x) / gamma(a)  */
00088     ax = a * log(x) - x - cephes_lgam(a);
00089     if ( ax < -MAXLOG ) {
00090         printf("igam: UNDERFLOW\n");
00091         return 0.0;
00092     }
00093     ax = exp(ax);
00094
00095     /* power series */
00096     r = a;
00097     c = 1.0;
00098     ans = 1.0;
00099
00100     do {
00101         r += 1.0;
00102         c *= x/r;
00103         ans += c;
00104     } while ( c/ans > MACHEP );
00105
00106     return ans * ax/a;
00107 }
00108
00109
00110 /* A[]: Stirling's formula expansion of log gamma
00111  * B[], C[]: log gamma function between 2 and 3
00112  */
00113 static unsigned short A[] = {
00114     0x6661,0x2733,0x9850,0x3f4a,
00115     0xe943,0xb580,0x7fbd,0xbf43,
00116     0x5ebb,0x20dc,0x019f,0x3f4a,
00117     0xa5a1,0x16b0,0xc16c,0xbf66,
00118     0x554b,0x5555,0x5555,0x3fb5
00119 };
00120 static unsigned short B[] = {
00121     0x6761,0x8ff3,0x8901,0xc095,
00122     0xb93e,0x355b,0xf234,0xc0e2,
00123     0x89e5,0xf890,0x3d73,0xc114,
00124     0xdb51,0xf994,0xbc82,0xc131,
00125     0xf20b,0x0219,0x4589,0xc13a,
00126     0x055e,0x5418,0x0c67,0xc12a
00127 };
00128 static unsigned short C[] = {
00129     /*0x0000,0x0000,0x0000,0x3ff0,*/
00130     0x12b2,0x1cf3,0xfd0d,0xc075,
```

```
00131     0xd757,0x7b89,0xaa0d,0xc0d0,
00132     0x4c9b,0xb974,0xeb84,0xc10a,
00133     0x0043,0x7195,0x6286,0xc131,
00134     0xf34c,0x892f,0x5255,0xc143,
00135     0xe14a,0x6a11,0xce4b,0xc13e
00136 };
00137
00138 #define MAXLGM 2.556348e305
00139
00140
00141 /* Logarithm of gamma function */
00142 double
00143 cephes_lgam(double x)
00144 {
00145     double  p, q, u, w, z;
00146     int     i;
00147
00148     sgngam = 1;
00149
00150     if ( x < -34.0 ) {
00151         q = -x;
00152         w = cephes_lgam(q); /* note this modifies sgngam! */
00153         p = floor(q);
00154         if ( p == q ) {
00155 lgsing:
00156             goto loverf;
00157         }
00158         i = (int)p;
00159         if ( (i & 1) == 0 )
00160             sgngam = -1;
00161         else
00162             sgngam = 1;
00163         z = q - p;
00164         if ( z > 0.5 ) {
00165             p += 1.0;
00166             z = p - q;
00167         }
00168         z = q * sin( PI * z );
00169         if ( z == 0.0 )
00170             goto lgsing;
00171         /*      z = log(PI) - log( z ) - w;*/
00172         z = log(PI) - log( z ) - w;
00173         return z;
00174     }
00175
00176     if ( x < 13.0 ) {
00177         z = 1.0;
00178         p = 0.0;
00179         u = x;
00180         while ( u >= 3.0 ) {
00181             p -= 1.0;
00182             u = x + p;
00183             z *= u;
00184         }
00185         while ( u < 2.0 ) {
00186             if ( u == 0.0 )
00187                 goto lgsing;
00188             z /= u;
00189             p += 1.0;
00190             u = x + p;
00191         }
00192         if ( z < 0.0 ) {
00193             sgngam = -1;
00194             z = -z;
00195         }
00196         else
00197             sgngam = 1;
00198         if ( u == 2.0 )
00199             return( log(z) );
00200         p -= 2.0;
00201         x = x + p;
00202         p = x * cephes_polevl( x, (double *)B, 5 ) / cephes_p1evl( x, (double *)C, 6);
00203
00204         return log(z) + p;
00205     }
00206
00207     if ( x > MAXLGM ) {
00208 loverf:
00209         printf("lgam: OVERFLOW\n");
00210
00211         return sgngam * MAXNUM;
00212     }
00213
00214     q = ( x - 0.5 ) * log(x) - x + log( sqrt( 2*PI ) );
00215     if ( x > 1.0e8 )
00216         return q;
00217
```

```
00218     p = 1.0/(x*x);
00219     if ( x >= 1000.0 )
00220         q += ((   7.9365079365079365079365e-4 * p
00221                 - 2.7777777777777777777778e-3) *p
00222                 + 0.08333333333333333333333) / x;
00223     else
00224         q += cephes_polevl( p, (double *)A, 4 ) / x;
00225
00226     return q;
00227 }
00228
00229 double
00230 cephes_polevl(double x, double *coef, int N)
00231 {
00232     double  ans;
00233     int     i;
00234     double  *p;
00235
00236     p = coef;
00237     ans = *p++;
00238     i = N;
00239
00240     do
00241         ans = ans * x  +  *p++;
00242     while ( --i );
00243
00244     return ans;
00245 }
00246
00247 double
00248 cephes_p1evl(double x, double *coef, int N)
00249 {
00250     double  ans;
00251     double  *p;
00252     int     i;
00253
00254     p = coef;
00255     ans = x + *p++;
00256     i = N-1;
00257
00258     do
00259         ans = ans * x  + *p++;
00260     while ( --i );
00261
00262     return ans;
00263 }
00264
00265 double
00266 cephes_erf(double x)
00267 {
00268     static const double two_sqrtpi = 1.128379167095512574;
00269     double  sum = x, term = x, xsqr = x * x;
00270     int     j = 1;
00271
00272     if ( fabs(x) > 2.2 )
00273         return 1.0 - cephes_erfc(x);
00274
00275     do {
00276         term *= xsqr/j;
00277         sum -= term/(2*j+1);
00278         j++;
00279         term *= xsqr/j;
00280         sum += term/(2*j+1);
00281         j++;
00282     } while ( fabs(term)/sum > rel_error );
00283
00284     return two_sqrtpi*sum;
00285 }
00286
00287 double
00288 cephes_erfc(double x)
00289 {
00290     static const double one_sqrtpi = 0.564189583547756287;
00291     double  a = 1, b = x, c = x, d = x*x + 0.5;
00292     double  q1, q2 = b/d, n = 1.0, t;
00293
00294     if ( fabs(x) < 2.2 )
00295         return 1.0 - cephes_erf(x);
00296     if ( x < 0 )
00297         return 2.0 - cephes_erfc(-x);
00298
00299     do {
00300         t = a*n + b*x;
00301         a = b;
00302         b = t;
00303         t = c*n + d*x;
00304         c = d;
```

```
00305         d = t;
00306         n += 0.5;
00307         q1 = q2;
00308         q2 = b/d;
00309     } while ( fabs(q1-q2)/q2 > rel_error );
00310
00311     return one_sqrtpi*exp(-x*x)*q2;
00312 }
00313
00314
00315 double
00316 cephes_normal(double x)
00317 {
00318     double arg, result, sqrt2=1.41421356237309504880168872420969807856967 2;
00319
00320     if (x > 0) {
00321         arg = x/sqrt2;
00322         result = 0.5 * ( 1 + erf(arg) );
00323     }
00324     else {
00325         arg = -x/sqrt2;
00326         result = 0.5 * ( 1 - erf(arg) );
00327     }
00328
00329     return( result);
00330 }
```

6.13 Файл src/nist_funcs.cpp

Файл, содержащий реализации вспомогательных функций для nist-тестов

```
#include <cmath>
#include "../include/tests.h"
#include "../include/defs.h"
#include <iostream>
```

Функции

- std::vector< bool > sample_to_bit_sequence (std::vector< unsigned int > &vec)

  Функция, преобразовывающая вектор выборки в последовательность битов этой выборки
- std::vector< unsigned int > get_pattern_counts (std::vector< bool > &bit_seq, int m)

  Функция, которая выявляет паттерны битов заданной длины в последовательности и считает их количество
- double get_psi2 (std::vector< bool > &bit_seq, int m)

  Вспомогательная функция теста на периодичность
- double get_apEn (std::vector< bool > &bit_seq, int m)

  Вспомогательная функциятеста приблизительной энтропии

6.13.1 Подробное описание

Файл, содержащий реализации вспомогательных функций для nist-тестов

См. определение в файле nist_funcs.cpp

6.13.2 Функции

6.13.2.1 get_apEn()

```
double get_apEn (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Вспомогательная функциятеста приблизительной энтропии

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов
m	Длина блока

Возвращает

Искомое значение

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 89

```
00090 {
00091   std::vector<unsigned int> pattern_counts = get_pattern_counts(bit_seq, m);
00092
00093   double apEn = 0;
00094
00095   for ( auto count : pattern_counts)
00096   {
00097     double p = (double)count / bit_seq.size();
00098     apEn += (p > std::pow(10,-6)) ? (p * std::log(p)) : 0;
00099   }
00100
00101   return apEn;
00102 }
```

6.13.2.2 get_pattern_counts()

```
std::vector< unsigned int > get_pattern_counts (
                std::vector< bool > & bit_seq,
                int m)
```

Функция, которая выявляет паттерны битов заданной длины в последовательности и считает их количество

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов
m	Длина паттерна

Возвращает

Количество встреченных паттернов одного вида. Паттерну, являющемуся двоичным представление числа num, соответствует индекс num

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 43

```
00044 {
00045   std::vector<unsigned int> pattern_counts(1«m, 0);
00046
00047   for (int i=0; i < bit_seq.size(); ++i)
00048   {
00049     int k=0;
00050     for (int j = m-1; j >= 0; --j)  // Проходимся в обратном порядке для эстетичности, чтобы паттерн равный числу I
       был записан под индексом I
00051     {
00052       if (bit_seq.at((i+j) % bit_seq.size()))   k = 2*k + 1;
00053       else                                      k = 2*k;
00054     }
00055     ++pattern_counts[k];
00056   }
00057
00058   return pattern_counts;
00059 }
```

6.13.2.3 get_psi2()

```
double get_psi2 (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Вспомогательная функция теста на периодичность

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов
m	Длина блока

Возвращает

Искомое значение

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 66

```
00067 {
00068   std::vector<unsigned int> pattern_counts = get_pattern_counts(bit_seq, m);
00069
00070
00071   int expected = bit_seq.size() / (1 « m);
00072
00073   double sum = 0;
00074   for ( auto count : pattern_counts)
00075   {
00076     sum += (count - expected) * (count - expected);
00077   }
00078
00079   sum = ( sum * (1 « m) ) / bit_seq.size() - bit_seq.size();
00080
00081   return sum;
00082 }
```

6.13.2.4 sample_to_bit_sequence()

```
std::vector< bool > sample_to_bit_sequence (
            std::vector< unsigned int > & vec)
```

Функция, преобразовывающая вектор выборки в последовательность битов этой выборки

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Последовательность битов

См. определение в файле nist_funcs.cpp строка 18

```
00019 {
00020   int max_len = 1 + std::log2(MAX_LIM); // Находим наибольший бит, который может принять значение 1
00021                                         // Старшие биты всегда будут 0, что будет нарушать тесты, поэтому обрубаем их
00022
00023   std::vector<bool> bit_seq;
00024
00025   for (auto num : vec)
00026   {
00027     for (int i=0; i < max_len; ++i)
00028     {
00029       bit_seq.push_back(num » i & 1); // биты хранятся в обратном порядке, т.е. чем меньше индекс, тем младше бит
00030     }
00031   }
00032
00033   return bit_seq;
00034
00035
00036 }
```

6.14 nist_funcs.cpp

См. документацию.

```
00001
00005
00006 #include <cmath>
00007
00008 #include "../include/tests.h"
00009 #include "../include/defs.h"
00010
00011
00012 #include<iostream>
00013
00014
00018 std::vector<bool> sample_to_bit_sequence ( std::vector<unsigned int>& vec )
00019 {
00020   int max_len = 1 + std::log2(MAX_LIM); // Находим наибольший бит, который может принять значение 1
00021                                         // Старшие биты всегда будут 0, что будет нарушать тесты, поэтому обрубаем их
00022
00023   std::vector<bool> bit_seq;
00024
00025   for (auto num : vec)
00026   {
00027     for (int i=0; i < max_len; ++i)
00028     {
00029       bit_seq.push_back(num » i & 1); // биты хранятся в обратном порядке, т.е. чем меньше индекс, тем младше бит
00030     }
00031   }
00032
00033   return bit_seq;
00034
00035
00036 }
00037
00038
00043 std::vector<unsigned int> get_pattern_counts ( std::vector<bool>& bit_seq, int m )
00044 {
00045   std::vector<unsigned int> pattern_counts(1«m, 0);
00046
00047   for (int i=0; i < bit_seq.size(); ++i)
00048   {
00049     int k=0;
00050     for (int j = m-1; j >= 0; --j)  // Проходимся в обратном порядке для эстетичности, чтобы паттерн равный числу I
      был записан под индексом I
00051     {
00052       if (bit_seq.at((i+j) % bit_seq.size()))   k = 2*k + 1;
00053       else                                      k = 2*k;
00054     }
00055     ++pattern_counts[k];
00056   }
00057
00058   return pattern_counts;
00059 }
00060
00061
00066 double get_psi2 ( std::vector<bool>& bit_seq, int m )
00067 {
00068   std::vector<unsigned int> pattern_counts = get_pattern_counts(bit_seq, m);
00069
00070
00071   int expected = bit_seq.size() / (1 « m);
00072
00073   double sum = 0;
00074   for ( auto count : pattern_counts)
00075   {
00076     sum += (count - expected) * (count - expected);
00077   }
00078
00079   sum = ( sum * (1 « m) ) / bit_seq.size() - bit_seq.size();
00080
00081   return sum;
00082 }
00083
00084
00089 double get_apEn ( std::vector<bool>& bit_seq, int m )
00090 {
00091   std::vector<unsigned int> pattern_counts = get_pattern_counts(bit_seq, m);
00092
00093   double apEn = 0;
00094
00095   for ( auto count : pattern_counts)
00096   {
00097     double p = (double)count / bit_seq.size();
00098     apEn += (p > std::pow(10,-6)) ? (p * std::log(p)) : 0;
00099   }
```

```
00100
00101   return apEn;
00102 }
00103
00104
```

6.15 Файл src/nist_tests.cpp

Файл, содержащий реализации 5 nist-тестов.

```
#include <cmath>
#include <algorithm>
#include "../include/tests.h"
#include "../include/defs.h"
#include "../include/external/cephes.h"
#include <iostream>
```

Функции

- double nist_frequency (std::vector< bool > &bit_seq)
  Частотный побитовый тест
- double nist_runs (std::vector< bool > &bit_seq)
  Тест на последовательность одинаковых битов
- double nist_serial (std::vector< bool > &bit_seq, int m)
  Тест на периодичность
- double nist_apEntropy (std::vector< bool > &bit_seq, int m)
  Тест приблизительной энтропии
- double nist_cusum (std::vector< bool > &bit_seq)
  Тест кумулятивных сумм

6.15.1 Подробное описание

Файл, содержащий реализации 5 nist-тестов.

Реализованные nist-тесты:

- Частотный побитовый тест
- Тест на последовательность одинаковых битов
- Тест на периодичность
- Тест приблизительной энтропии
- Тест кумулятивных сумм

См. определение в файле nist_tests.cpp

6.15.2 Функции

6.15.2.1 nist_apEntropy()

```
double nist_apEntropy (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Тест приблизительной энтропии

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки
m	Длина рассматриваемого блока бит

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 94

```
00095 {
00096   double apEn_m  = get_apEn(bit_seq, m);
00097   double apEn_m1 = get_apEn(bit_seq, m+1);
00098
00099   double apEn = apEn_m - apEn_m1;
00100   double chi2 = 2 * bit_seq.size() * (std::log(2) - apEn);
00101
00102   double p_value = cephes_igamc(1 « (m-1), chi2/2);
00103   return p_value;
00104 }
```

6.15.2.2 nist_cusum()

```
double nist_cusum (
                std::vector< bool > & bit_seq)
```

Тест кумулятивных сумм

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 109

```
00110 {
00111   int S = 0;
00112   int max_S = 0;
00113
00114
00115   for ( auto bit : bit_seq )
00116   {
00117     bit ? ++S : --S;
00118     max_S = (std::abs(S) > max_S) ? std::abs(S) : max_S;
00119   }
00120
00121   double p_value = std::erfc(max_S / std::sqrt(2 * bit_seq.size()));
00122
00123   return p_value;
00124 }
```

6.15.2.3 nist_frequency()

```
double nist_frequency (
                std::vector< bool > & bit_seq)
```

Частотный побитовый тест

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 29

```
00030 {
00031   int sum = 0;
00032
00033   for (auto bit : bit_seq)
00034   {
00035     bit ? ++sum : --sum; // Итого: ++sum, если бит - 1, иначе --sum
00036   }
00037
00038   double s_obs = std::abs(sum) / std::sqrt(bit_seq.size());
00039   double p_value = std::erfc(s_obs / std::sqrt(2));
00040
00041   return p_value;
00042 }
```

6.15.2.4 nist_runs()

```
double nist_runs (
                std::vector< bool > & bit_seq)
```

Тест на последовательность одинаковых битов

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 48

```
00049 {
00050
00051   int sum = std::count(bit_seq.begin(), bit_seq.end(), true);
00052
00053   double pi = (double)sum / bit_seq.size();
00054
00055   if (fabs(pi - 0.5) >= 2 / std::sqrt(bit_seq.size()))
00056   {
00057     std::cerr « "»> Не выполнен критерий для runs теста" « std::endl;
00058     return 0;
00059   }
00060
00061
00062   int runs = 1;
00063   for (int i=1; i < bit_seq.size(); ++i)
00064   {
00065     if (bit_seq.at(i) != bit_seq.at(i-1))
00066       ++runs;
00067   }
00068
00069   double erfc_arg = fabs(runs - 2.0 * bit_seq.size() * pi * (1-pi)) / (2.0 * pi * (1-pi) * sqrt(2*bit_seq.size()));
00070     double p_value = erfc(erfc_arg);
00071
00072   return p_value;
00073
00074 }
```

6.15.2.5 nist_serial()

```
double nist_serial (
            std::vector< bool > & bit_seq,
            int m)
```

Тест на периодичность

Аргументы

bit_seq	Последовательность битов выборки
m	Длина рассматриваемого блока бит

Возвращает

p_value

См. определение в файле nist_tests.cpp строка 80

```
00081 {
00082   double psi_m   = get_psi2(bit_seq, m);
00083   double psi_m_1 = get_psi2(bit_seq, m-1);
00084
00085
00086   double p_value = cephes_igamc(1 « (m-2), (psi_m - psi_m_1)/2);
00087   return p_value;
00088 }
```

6.16 nist_tests.cpp

См. документацию.

```
00001
00012
00013 #include <cmath>
00014 #include <algorithm>
00015
00016 #include "../include/tests.h"
00017 #include "../include/defs.h"
00018
00019 #include "../include/external/cephes.h"
00020
00021
00022 #include<iostream>
00023
00024
00025
00029 double nist_frequency ( std::vector<bool>& bit_seq )
00030 {
00031   int sum = 0;
00032
00033   for (auto bit : bit_seq)
00034   {
00035     bit ? ++sum : --sum; // Итого: ++sum, если бит - 1, иначе --sum
00036   }
00037
00038   double s_obs = std::abs(sum) / std::sqrt(bit_seq.size());
00039   double p_value = std::erfc(s_obs / std::sqrt(2));
00040
00041   return p_value;
00042 }
00043
00044
00048 double nist_runs ( std::vector<bool>& bit_seq )
00049 {
00050
00051   int sum = std::count(bit_seq.begin(), bit_seq.end(), true);
00052
00053   double pi = (double)sum / bit_seq.size();
00054
```

```
00055   if (fabs(pi - 0.5) >= 2 / std::sqrt(bit_seq.size()))
00056   {
00057     std::cerr « "»> Не выполнен критерий для runs теста" « std::endl;
00058     return 0;
00059   }
00060
00061
00062   int runs = 1;
00063   for (int i=1; i < bit_seq.size(); ++i)
00064   {
00065     if (bit_seq.at(i) != bit_seq.at(i-1))
00066       ++runs;
00067   }
00068
00069   double erfc_arg = fabs(runs - 2.0 * bit_seq.size() * pi * (1-pi)) / (2.0 * pi * (1-pi) * sqrt(2*bit_seq.size()));
00070     double p_value = erfc(erfc_arg);
00071
00072   return p_value;
00073
00074 }
00075
00080 double nist_serial ( std::vector<bool>& bit_seq, int m )
00081 {
00082   double psi_m   = get_psi2(bit_seq, m);
00083   double psi_m_1 = get_psi2(bit_seq, m-1);
00084
00085
00086   double p_value = cephes_igamc(1 « (m-2), (psi_m - psi_m_1)/2);
00087   return p_value;
00088 }
00089
00094 double nist_apEntropy ( std::vector<bool>& bit_seq, int m )
00095 {
00096   double apEn_m  = get_apEn(bit_seq, m);
00097   double apEn_m1 = get_apEn(bit_seq, m+1);
00098
00099   double apEn = apEn_m - apEn_m1;
00100   double chi2 = 2 * bit_seq.size() * (std::log(2) - apEn);
00101
00102   double p_value = cephes_igamc(1 « (m-1), chi2/2);
00103   return p_value;
00104 }
00105
00109 double nist_cusum ( std::vector<bool>& bit_seq )
00110 {
00111   int S = 0;
00112   int max_S = 0;
00113
00114
00115   for ( auto bit : bit_seq )
00116   {
00117     bit ? ++S : --S;
00118     max_S = (std::abs(S) > max_S) ? std::abs(S) : max_S;
00119   }
00120
00121   double p_value = std::erfc(max_S / std::sqrt(2 * bit_seq.size()));
00122
00123   return p_value;
00124 }
00125
00126
```

6.17 Файл src/prng.cpp

Файл, с определением методов классов генераторов

#include <iostream>
#include "../include/prng.h"

6.17.1 Подробное описание

Файл, с определением методов классов генераторов

См. определение в файле prng.cpp

6.18 prng.cpp

См. документацию.

```
00001
00005
00006 #include <iostream>
00007
00008 #include "../include/prng.h"
00009
00010
00012 //           PRNG           //
00014
00015
00019 PRNG::PRNG ( uint32_t min_lim, uint32_t max_lim )
00020 : min_lim(min_lim), max_lim(max_lim) {}
00021
00022
00026 void PRNG::generate_sample (std::ostream& out, int size)
00027 {
00028   for (int i=0; i < size; ++i)
00029   {
00030     out « this->generate() « std::endl;
00031   }
00032 }
00033
00034
00038 uint32_t PRNG::result (uint32_t result) const
00039 {
00040   return min_lim + result % (1ul + max_lim - min_lim); // поскольку max_lim - верхняя граница включительно, то
      нужно брать модуль +1
00041                                                      // (1 - unsigned long, чтобы не возникло переполнения и не было деления на 0)
00042 }
00043
00044
00045
00046
00048 //          mid_xor          //
00050
00055 mid_xor_PRNG::mid_xor_PRNG (uint32_t seed, uint32_t min_lim, uint32_t max_lim)
00056 : PRNG(min_lim, max_lim), seed(seed) {}
00057
00058
00061 uint32_t mid_xor_PRNG::generate ()
00062 {
00063   uint64_t product = seed * seed;
00064
00065   seed  = (product » 8) & 0xFFFFFFFF;
00066
00067   // Динамический сдвиг для XorShift
00068   uint8_t shift = (seed » 10) & 0x1F; // Сдвиг от 0 до 31
00069   seed ^= 0x9E3779B9 « (shift % 13 + 1); // Чтобы не было вырождения в 0
00070   seed ^= seed » (shift % 17 + 1);
00071
00072   return result(seed);
00073 }
00074
00075
00076
00078 //          mul_xor          //
00080
00085 mul_xor_PRNG::mul_xor_PRNG (uint32_t seed, uint32_t min_lim, uint32_t max_lim)
00086 : PRNG(min_lim, max_lim), seed(seed) {}
00087
00088
00091 uint32_t mul_xor_PRNG::generate ()
00092 {
00093   seed ^= seed « 13;
00094   seed ^= (seed » 7) * 0x9AE77B3D;
00095   seed ^= (seed » 5) | (seed « 17);
00096
00097   return result(seed);
00098 }
00099
00100
00101
00103 //           LCG           //
00105
00110 LCG::LCG (uint32_t seed, uint32_t min_lim, uint32_t max_lim)
00111 // : PRNG(min_lim, max_lim), seed(seed), k((1«16)+1), b((1«8)-1), M(1«31) {}
00112 : PRNG(min_lim, max_lim), seed(seed), k(1'103'515'245), b(12345), M(1«31) {}
00113
00114
00117 uint32_t LCG::generate ()
00118 {
00119   seed = (seed * k + b) & (M-1); // Если M = 2^N
```

```
00120   // seed = (seed * k + b) % (M); // иначе
00121
00122   // (k-1) - делится на все простые делители M (2)
00123   // b и M взаимно простые
00124   // M делится на 4 и (k-1) делится на 4
00125   //
00126   // Поэтому у этого линейного конгруэнтного генератора макцимальная периодичность
00127
00128   return result(seed);
00129 }
00130
00131
```

6.19 Файл src/tests.cpp

Файл, в котором определяются все функции, производящие оценки выборок и хи-квадрат тест

#include <cmath>
#include <algorithm>
#include "../include/tests.h"

Функции

- double get_mean (std::vector< unsigned int > &vec)

  Оценка выборки на среднее значение
- double get_stdDev (std::vector< unsigned int > &vec)

  Оценка выборки на стандартное отклонение
- double get_cv (std::vector< unsigned int > &vec)

  Оценка выборки на коэффициент вариации
- std::pair< double, int > get_chi2 (std::vector< unsigned int > &vec)

  Тест хи-квадрат

6.19.1 Подробное описание

Файл, в котором определяются все функции, производящие оценки выборок и хи-квадрат тест

См. определение в файле tests.cpp

6.19.2 Функции

6.19.2.1 get_chi2()

std::pair< double, int > get_chi2 (
        std::vector< unsigned int > & vec)

Тест хи-квадрат

Аргументы

vec	Верктор выборки

Возвращает

Пара значений (значение хи-квадрат, количество степеней свободы)

См. определение в файле tests.cpp строка 56

```
00057 {
00058   if (vec.empty())
00059     return {-1,-1};
00060
00061   auto min_val = *std::min_element(vec.begin(), vec.end()); // Наименьший элемент выборки
00062   auto max_val = *std::max_element(vec.begin(), vec.end()); // Наибольший элемент выборки
00063
00064   int bin_number =  1 + std::log2(vec.size());          // Количество промежутков по правилу Стерджеса
00065   float bin_width = (float)(max_val-min_val)/bin_number;  // Ширина промежутка
00066
00067   float expected = (float)vec.size() / bin_number;  // Количество ожидаемых наблюдений в каждом промежутке
00068   std::vector<int> observed(bin_number, 0);         // Количество фактических наблюдений в каждом промежутке
00069
00070
00071   for ( auto val : vec )
00072   {
00073     int bin_ind = (int) ((val - min_val) / bin_width);
00074     if (bin_ind >= bin_number) --bin_ind;
00075
00076     ++observed.at(bin_ind);
00077   }
00078
00079
00080   double chi2 = 0;
00081
00082   for ( auto obs : observed)
00083   {
00084     chi2 += (obs - expected) * (obs - expected) / expected;
00085   }
00086
00087   return {chi2, bin_number-1};
00088
00089 }
```

6.19.2.2 get_cv()

```
double get_cv (
                std::vector< unsigned int > & vec)
```

Оценка выборки на коэффициент вариации

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Коэффициент вариации

См. определение в файле tests.cpp строка 47

```
00048 {
00049   return get_stdDev(vec) / get_mean(vec);
00050 }
```

6.19.2.3 get_mean()

```
double get_mean (
                std::vector< unsigned int > & vec)
```

Оценка выборки на среднее значение

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Среднее значение

См. определение в файле tests.cpp строка 14

```
00015 {
00016   double sum = 0;
00017
00018   for ( auto& num : vec )
00019   {
00020     sum += num;
00021   }
00022
00023   return sum / vec.size();
00024 }
```

6.19.2.4 get_stdDev()

```
double get_stdDev (
            std::vector< unsigned int > & vec)
```

Оценка выборки на стандартное отклонение

Аргументы

vec	Вектор выборки

Возвращает

Стандартное отклонение

См. определение в файле tests.cpp строка 30

```
00031 {
00032   unsigned long sum = 0;
00033   auto mean = get_mean(vec);
00034
00035   for ( auto& num : vec )
00036   {
00037     sum += (num - mean) * (num - mean);
00038   }
00039
00040   return std::sqrt(sum / vec.size());
00041 }
```

6.20 tests.cpp

См. документацию.

```
00001
00005
00006 #include <cmath>
00007 #include <algorithm>
00008
00009 #include "../include/tests.h"
00010
00014 double get_mean ( std::vector<unsigned int>& vec )
```

```
00015 {
00016   double sum = 0;
00017
00018   for ( auto& num : vec )
00019   {
00020     sum += num;
00021   }
00022
00023   return sum / vec.size();
00024 }
00025
00026
00030 double get_stdDev ( std::vector<unsigned int>& vec )
00031 {
00032   unsigned long sum = 0;
00033   auto mean = get_mean(vec);
00034
00035   for ( auto& num : vec )
00036   {
00037     sum += (num - mean) * (num - mean);
00038   }
00039
00040   return std::sqrt(sum / vec.size());
00041 }
00042
00043
00047 double get_cv ( std::vector<unsigned int>& vec )
00048 {
00049   return get_stdDev(vec) / get_mean(vec);
00050 }
00051
00052
00056 std::pair<double,int> get_chi2 ( std::vector<unsigned int>& vec )
00057 {
00058   if (vec.empty())
00059     return {-1,-1};
00060
00061   auto min_val = *std::min_element(vec.begin(), vec.end()); // Наименьший элемент выборки
00062   auto max_val = *std::max_element(vec.begin(), vec.end()); // Наибольший элемент выборки
00063
00064   int bin_number =  1 + std::log2(vec.size());            // Количество промежутков по правилу Стерджеса
00065   float bin_width = (float)(max_val-min_val)/bin_number;  // Ширина промежутка
00066
00067   float expected = (float)vec.size() / bin_number;  // Количество ожидаемых наблюдений в каждом промежутке
00068   std::vector<int> observed(bin_number, 0);         // Количество фактических наблюдений в каждом промежутке
00069
00070
00071   for ( auto val : vec )
00072   {
00073     int bin_ind = (int) ((val - min_val) / bin_width);
00074     if (bin_ind >= bin_number) --bin_ind;
00075
00076     ++observed.at(bin_ind);
00077   }
00078
00079
00080   double chi2 = 0;
00081
00082   for ( auto obs : observed)
00083   {
00084     chi2 += (obs - expected) * (obs - expected) / expected;
00085   }
00086
00087   return {chi2, bin_number-1};
00088
00089 }
00090
00091
```

6.21 Файл time_check.cpp

Файл, в котором производится измерение времени генерации выборок разных размеров разными генераторами и одним из стандартных генераторов

#include <fstream>
#include <vector>
#include <chrono>
#include <experimental/random>

#include "include/prng.h"
#include "include/defs.h"

Функции

- void check_time (std::ostream &out, int size)

  Функция, в которой производится измерение и запись времени генерации выборки для каждого из генераторов
- int main ()

  Основная функция, в которой происходит измерение времени генерации выборок разных размеров всеми генераторами и одним из стандартных генераторов

6.21.1 Подробное описание

Файл, в котором производится измерение времени генерации выборок разных размеров разными генераторами и одним из стандартных генераторов

См. определение в файле time_check.cpp

6.21.2 Функции

6.21.2.1 check_time()

void check_time (
        std::ostream & out,
        int size)

Функция, в которой производится измерение и запись времени генерации выборки для каждого из генераторов

Аргументы

out	Поток, куда будет записан результат
size	Размер генерируемой выборки

См. определение в файле time_check.cpp строка 44

```
00045 {
00046   namespace ch = std::chrono;               // Для удобства
00047   using clock  = ch::high_resolution_clock; // Для удобства
00048
00049   // Записываем размер выборки
00050   out « size « ',';
00051
00052   ch::time_point<clock> start, end; // Метки начала и конца измерения
00053   std::ofstream trash("/dev/null"); // Мусорка, чтобы не хранить сгенерированные выборки
00054
00055
00056   // Замер для генератора mid_xor
00057   {
00058     mid_xor_PRNG prng(42, MIN_LIM, MAX_LIM);  // Создание генератора
00059     start = clock::now();                     // Начало измерения
00060     prng.generate_sample(trash, size);        // Генерация выборки
00061     end = clock::now();                       // Конец измерения
00062
00063     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « ','; // Запись результата
00064   }
00065
```

```
00066
00067   // Замер для генератора mul_xor
00068   {
00069     mul_xor_PRNG prng(42, MIN_LIM, MAX_LIM);  // Создание генератора
00070     start = clock::now();                     // Начало измерения
00071     prng.generate_sample(trash, size);        // Генерация выборки
00072     end = clock::now();                       // Конец измерения
00073
00074     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « ','; // Запись результата
00075   }
00076
00077
00078   // Замер для генератора LCG
00079   {
00080     LCG prng(42, MIN_LIM, MAX_LIM);           // Создание генератора
00081     start = clock::now();                     // Начало измерения
00082     prng.generate_sample(trash, size);        // Генерация выборки
00083     end = clock::now();                       // Конец измерения
00084
00085     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « ','; // Запись результата
00086   }
00087
00088
00089   // Замер для генератора randint
00090   {
00091     std::srand(42);                           // Задание семени
00092     start = clock::now();                     // Начало измерения
00093     for (int i=0; i<size; ++i)                // Генерация выборки
00094       std::experimental::randint(MIN_LIM, MAX_LIM);
00095     end = clock::now();                       // Конец измерения
00096
00097     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « '\n'; // Запись результата
00098   }
00099 }
```

6.21.2.2 main()

int main ()

Основная функция, в которой происходит измерение времени генерации выборок разных размеров всеми генераторами и одним из стандартных генераторов

Возвращает

См. определение в файле time_check.cpp строка 21

```
00022 {
00023   // Файл для записи результатов
00024   std::ofstream time_results("generation_time.csv");
00025
00026   time_results « "Size,Mid_xor,Mul_xor,LCG,randint\n";
00027
00028   // Список размеров выборок
00029   std::vector<int> sizes = {  1'000,   2'000,   3'000,   5'000,    10'000,
00030                              20'000,  30'000,  50'000,  75'000,   100'000,
00031                             200'000, 300'000, 500'000, 750'000, 1'000'000};
00032
00033
00034   // Цикл измерения и записи времени генерации выборок для разных размеров
00035   for ( auto size : sizes )
00036     check_time (time_results, size);
00037
00038 }
```

6.22 time_check.cpp

См. документацию.

```
00001
00005
```

```
00006 #include <fstream>
00007 #include <vector>
00008
00009 #include <chrono>
00010 #include <experimental/random>
00011
00012 #include "include/prng.h"
00013 #include "include/defs.h"
00014
00015
00016 void check_time (std::ostream&, int);
00017
00018
00021 int main()
00022 {
00023   // Файл для записи результатов
00024   std::ofstream time_results("generation_time.csv");
00025
00026   time_results « "Size,Mid_xor,Mul_xor,LCG,randint\n";
00027
00028   // Список размеров выборок
00029   std::vector<int> sizes = {  1'000,   2'000,   3'000,   5'000,    10'000,
00030                              20'000,  30'000,  50'000,  75'000,   100'000,
00031                             200'000, 300'000, 500'000, 750'000, 1'000'000};
00032
00033
00034   // Цикл измерения и записи времени генерации выборок для разных размеров
00035   for ( auto size : sizes )
00036     check_time (time_results, size);
00037
00038 }
00039
00040
00044 void check_time (std::ostream& out, int size)
00045 {
00046   namespace ch = std::chrono;               // Для удобства
00047   using clock  = ch::high_resolution_clock; // Для удобства
00048
00049   // Записываем размер выборки
00050   out « size « ',';
00051
00052   ch::time_point<clock> start, end; // Метки начала и конца измерения
00053   std::ofstream trash("/dev/null"); // Мусорка, чтобы не хранить сгенерированные выборки
00054
00055
00056   // Замер для генератора mid_xor
00057   {
00058     mid_xor_PRNG prng(42, MIN_LIM, MAX_LIM);  // Создание генератора
00059     start = clock::now();                     // Начало измерения
00060     prng.generate_sample(trash, size);        // Генерация выборки
00061     end = clock::now();                       // Конец измерения
00062
00063     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « ','; // Запись результата
00064   }
00065
00066
00067   // Замер для генератора mul_xor
00068   {
00069     mul_xor_PRNG prng(42, MIN_LIM, MAX_LIM);  // Создание генератора
00070     start = clock::now();                     // Начало измерения
00071     prng.generate_sample(trash, size);        // Генерация выборки
00072     end = clock::now();                       // Конец измерения
00073
00074     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « ','; // Запись результата
00075   }
00076
00077
00078   // Замер для генератора LCG
00079   {
00080     LCG prng(42, MIN_LIM, MAX_LIM);           // Создание генератора
00081     start = clock::now();                     // Начало измерения
00082     prng.generate_sample(trash, size);        // Генерация выборки
00083     end = clock::now();                       // Конец измерения
00084
00085     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « ','; // Запись результата
00086   }
00087
00088
00089   // Замер для генератора randint
00090   {
00091     std::srand(42);                           // Задание семени
00092     start = clock::now();                     // Начало измерения
00093     for (int i=0; i<size; ++i)                // Генерация выборки
00094       std::experimental::randint(MIN_LIM, MAX_LIM);
00095     end = clock::now();                       // Конец измерения
00096
00097     out « ch::duration_cast<ch::microseconds>(end-start).count() « '\n'; // Запись результата
```

```
00098   }
00099 }
00100
```

6.23 time_graph.py

```
00001 import pandas as pd
00002 import matplotlib.pyplot as plt
00003
00004
00005 res_filepath = "./generation_time.csv"
00006 res_picpath  = "./generation_time.png"
00007
00008
00009 results = pd.read_csv(res_filepath)
00010
00011 names = results.columns[1:]
00012
00013
00014 plt.figure(figsize=(10,10),layout="tight")
00015
00016
00017
00018 plt.subplot(211)
00019
00020 plt.title("Зависимость времени генерации от объёма выборки для различных методов")
00021
00022 for name in names:
00023   plt.plot(results["Size"], results[name], "--o")
00024
00025 plt.grid(linestyle=":")
00026 plt.legend(results.columns[1:])
00027
00028 plt.xlabel("Количесто элементов")
00029 plt.ylabel("Время генерации, µs")
00030
00031
00032 plt.subplot(212)
00033
00034 for name in names:
00035   plt.plot(results["Size"], results[name], "--o")
00036
00037 plt.grid(linestyle=":")
00038 plt.legend(results.columns[1:])
00039
00040 plt.xlabel("Количесто элементов")
00041 plt.ylabel("Время генерации, µs")
00042
00043 plt.yscale("log")
00044
00045
00046 plt.savefig(res_picpath)
```

Предметный указатель

ALPHA
  defs.h, 30
AP_ENTROPY_M
  defs.h, 30

b
  LCG, 11

check_time
  time_check.cpp, 59
create_samples
  create_samples.cpp, 22
create_samples.cpp, 21
  create_samples, 22
  main, 23

defs.h
  ALPHA, 30
  AP_ENTROPY_M, 30
  MAX_LIM, 30
  MIN_LIM, 30
  SAMPLES_DIR, 31
  SERIAL_M, 31

generate
  LCG, 11
  mid_xor_PRNG, 14
  mul_xor_PRNG, 16
  PRNG, 18
generate_sample
  PRNG, 18
get_apEn
  nist_funcs.cpp, 45
  tests.h, 34
get_chi2
  tests.cpp, 55
  tests.h, 34
get_cv
  tests.cpp, 56
  tests.h, 35
get_mean
  tests.cpp, 56
  tests.h, 35
get_pattern_counts
  nist_funcs.cpp, 46
  tests.h, 36
get_psi2
  nist_funcs.cpp, 46
  tests.h, 36
get_results.cpp, 24
  main, 25
  process_sample, 26
get_stdDev
  tests.cpp, 57
  tests.h, 37

include/defs.h, 30, 31
include/external/cephes.h, 31
include/prng.h, 32
include/tests.h, 33, 41

k
  LCG, 11

LCG, 9
  b, 11
  generate, 11
  k, 11
  LCG, 10
  M, 11
  seed, 11

M
  LCG, 11
main
  create_samples.cpp, 23
  get_results.cpp, 25
  time_check.cpp, 60
MAX_LIM
  defs.h, 30
max_lim
  PRNG, 19
mid_xor_PRNG, 12
  generate, 14
  mid_xor_PRNG, 13
  seed, 14
MIN_LIM
  defs.h, 30
min_lim
  PRNG, 19
mul_xor_PRNG, 14
  generate, 16
  mul_xor_PRNG, 15
  seed, 16

nist_apEntropy
  nist_tests.cpp, 49
  tests.h, 37
nist_cusum
  nist_tests.cpp, 50

tests.h, 38
nist_frequency
nist_tests.cpp, 50
tests.h, 38
nist_funcs.cpp
get_apEn, 45
get_pattern_counts, 46
get_psi2, 46
sample_to_bit_sequence, 47
nist_runs
nist_tests.cpp, 51
tests.h, 39
nist_serial
nist_tests.cpp, 51
tests.h, 39
nist_tests.cpp
nist_apEntropy, 49
nist_cusum, 50
nist_frequency, 50
nist_runs, 51
nist_serial, 51

PRNG, 17
generate, 18
generate_sample, 18
max_lim, 19
min_lim, 19
PRNG, 17
result, 18
process_sample
get_results.cpp, 26

readme, 1
result
PRNG, 18

sample_to_bit_sequence
nist_funcs.cpp, 47
tests.h, 40
SAMPLES_DIR
defs.h, 31
seed
LCG, 11
mid_xor_PRNG, 14
mul_xor_PRNG, 16
SERIAL_M
defs.h, 31
src/external/cephes.cpp, 41
src/nist_funcs.cpp, 45, 48
src/nist_tests.cpp, 49, 52
src/prng.cpp, 53, 54
src/tests.cpp, 55, 57

tests.cpp
get_chi2, 55
get_cv, 56
get_mean, 56
get_stdDev, 57
tests.h
get_apEn, 34
get_chi2, 34
get_cv, 35
get_mean, 35
get_pattern_counts, 36
get_psi2, 36
get_stdDev, 37
nist_apEntropy, 37
nist_cusum, 38
nist_frequency, 38
nist_runs, 39
nist_serial, 39
sample_to_bit_sequence, 40
time_check.cpp, 58
check_time, 59
main, 60