

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**Санкт-Петербургский исследовательский университет**  
**Информационных технологий, механики и оптики**  
Факультет информационных технологий и программирования

Дисциплина: компьютерная геометрия и графика

# Отчет

по лабораторной работе № 2

*Изучение алгоритмов отрисовки растровых линий с применением сглаживания и  
гаммакоррекции*

Выполнила: студент гр. М3101

Шмарина Л.С.

Преподаватель: Скаков П.С.

Санкт-Петербург  
2020

**Цель работы:** изучить алгоритмы и реализовать программу, рисующую линию на изображении в формате PGM (P5) с учетом гамма-коррекции sRGB.

### Описание работы

Программа должна быть написана на C/C++ и не использовать внешние библиотеки.

Аргументы передаются через командную строку:

**program.exe** <имя\_входного\_файла> <имя\_выходного\_файла>  
<яркость\_линии> <толщина\_линии> <x\_начальный> <y\_начальный>  
<x\_конечный> <y\_конечный> <гамма>

где

- <яркость\_линии>: целое число 0..255;
- <толщина\_линии>: положительное дробное число;
- <x,y>: координаты внутри изображения, (0;0) соответствует левому верхнему углу, дробные числа (целые значения соответствуют центру пикселей).
- <гамма>: (optional)положительное вещественное число:  
гамма-коррекция с введенным значением в качестве гаммы. При его отсутствии используется sRGB.

**Частичное решение:** <толщина\_линии>=1, <гамма>=2.0, координаты начала и конца – целые числа, чёрный фон вместо данных исходного файла (размеры берутся из исходного файла).

**Полное решение:** всё работает (гамма + sRGB, толщина не только равная 1, фон из входного изображения) + корректно выделяется и освобождается память, закрываются файлы, есть обработка ошибок.

Если программе передано значение, которое не поддерживается – следует сообщить об ошибке.

Коды возврата:

0 - ошибок нет

1 - произошла ошибка

В поток вывода ничего не выводится (printf, cout).

Сообщения об ошибках выводятся в поток вывода ошибок:

C: fprintf(stderr, "Error\n");

C++: std::cerr

Следующие параметры гарантировано не будут выходить за обусловленные значения:

- <яркость\_линии> = целое число 0..255;
- <толщина\_линии> = положительное вещественное число;
- width и height в файле - положительные целые значения;
- яркостных данных в файле ровно width \* height;
- <x\_начальный> <x\_конечный> = [0..width];
- <y\_начальный> <y\_конечный> = [0..height];

## Теоретическая часть

Существуют несколько видов алгоритмов:

1. Со сглаживанием
2. Без сглаживания

### *Алгоритм Брезенхема*

Это простой алгоритм целочисленный, без сглаживания.

Псевдокод:

```
function line(int x0, int x1, int y0, int y1)
    int deltax := abs(x1 - x0)
    int deltay := abs(y1 - y0)
    int error := 0
    int deltaerr := (deltay + 1)
    int y := y0
    int diry := y1 - y0
    if diry > 0
        diry = 1
    if diry < 0
        diry = -1
    for x from x0 to x1
        plot(x,y)
        error := error + deltaerr
        if error >= (deltax + 1)
            y := y + diry
            error := error - (deltax + 1)
```

## Алгоритм Ву

Этот алгоритм может работать с дробными координатами, со сглаживанием, но он относительно сложный по сравнению с алгоритмом Брезенхема.

Псевдокод:

```
function plot(x, y, c) is
    // рисует точку с координатами (x, y)
    // и яркостью c (где  $0 \leq c \leq 1$ )

function ipart(x) is
    return целая часть от x

function round(x) is
    return ipart(x + 0.5) // округление до ближайшего целого

function fpart(x) is
    return дробная часть x

function draw_line(x1,y1,x2,y2) is
    if x2 < x1 then
        swap(x1, x2)
        swap(y1, y2)
    end if

    dx := x2 - x1
    dy := y2 - y1
    gradient := dy ÷ dx

    // обработать начальную точку
    xend := round(x1)
    yend := y1 + gradient × (xend - x1)
    xgap := 1 - fpart(x1 + 0.5)
    xpxl1 := xend // будет использоваться в основном цикле
    ypxl1 := ipart(yend)
    plot(xpxl1, ypxl1, (1 - fpart(yend)) × xgap)
    plot(xpxl1, ypxl1 + 1, fpart(yend) × xgap)
    intery := yend + gradient // первое y-пересечение для цикла

    // обработать конечную точку
    xend := round(x2)
    yend := y2 + gradient × (xend - x2)
    xgap := fpart(x2 + 0.5)
    xpxl2 := xend // будет использоваться в основном цикле
    ypxl2 := ipart(yend)
    plot(xpxl2, ypxl2, (1 - fpart(yend)) × xgap)
    plot(xpxl2, ypxl2 + 1, fpart(yend) × xgap)

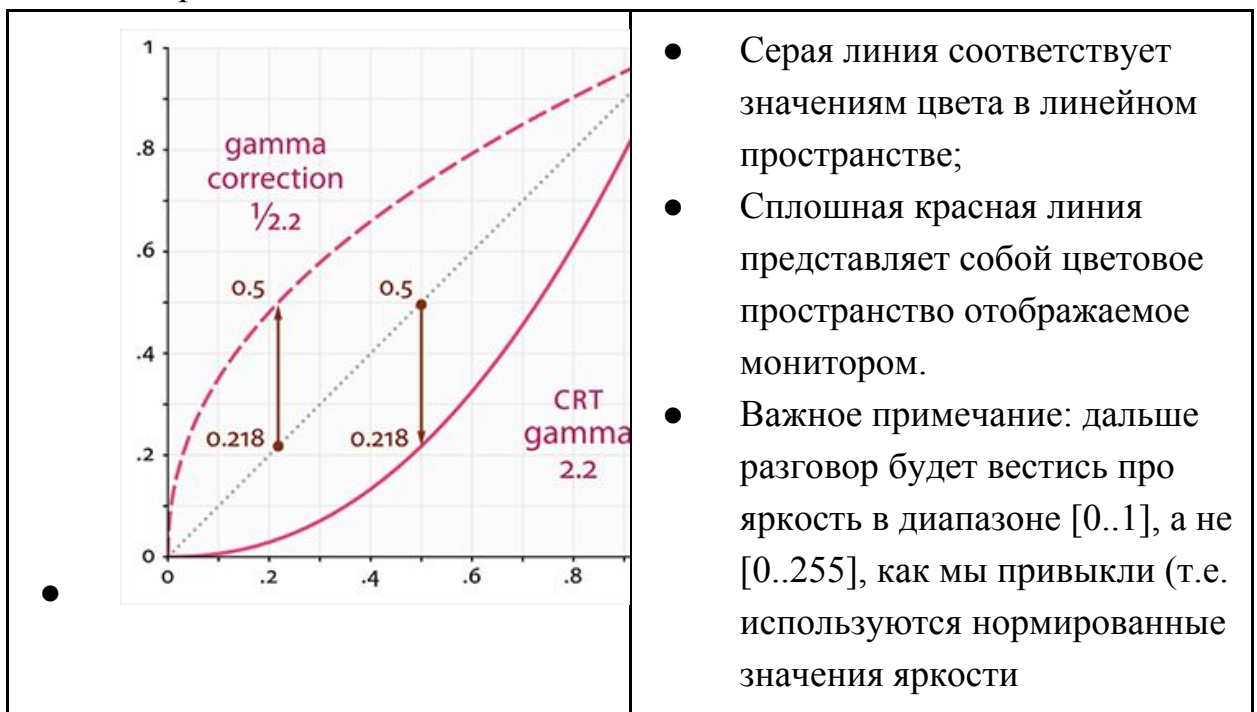
    // основной цикл
    for x from xpxl1 + 1 to xpxl2 - 1 do
        plot(x, ipart(intery), 1 - fpart(intery))
        plot(x, ipart(intery) + 1, fpart(intery))
        intery := intery + gradient
    repeat
end function
```

## Гамма-коррекция

Зависимость между входным напряжением и яркостью выражается степенной функцией, с показателем примерно 2.2, также известным как гамма монитора. Такая особенность мониторов связана с нелинейностью человеческого восприятия яркости.

Linear encoding $V_S =$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Linear intensity $I =$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

$V_S$  показывает как воспринимается яркость человеческим глазом: при увеличении яркости в 2 раза (например, от 0.1 до 0.2) картинка выглядит так, будто она в два раза ярче. Однако, когда мы говорим о физической яркости света, верную картину дает нижняя шкала ( $I$ ). На ней удвоение значения дает правильную с физической точки зрения яркость, в силу того, однако глаза более восприимчивы к изменениям темных цветов.



sRGB является стандартом представления цветового спектра с использованием модели RGB. sRGB создан для унификации использования модели RGB в мониторах, принтерах и Интернет-сайтах. sRGB использует основные цвета, описанные стандартом BT.709, аналогично студийным мониторам и HD-телевидению, а также гамма-коррекцию, аналогично мониторам с электроннолучевой трубкой. Такая спецификация позволила

sRGB в точности отображаться на обычных CRT мониторах и телевизорах, что стало в своё время основным фактором, повлиявшим на принятие sRGB в качестве стандарта

### Альфа смешивание

Альфа-значение определяет степень прозрачности конкретного пикселя.

Альфа-смешение - это процесс комбинирования двух объектов на экране с учётом их альфа-каналов. Альфа-смешение является необходимым для антиалиасинга; создания прозрачности, теней, зеркал, тумана.

Расчёт яркости результирующего пикселя после наложения двух пикселей друг на друга выполняется по формуле:

$$R = B \cdot (1 - A) + F \cdot A \quad \text{или в иной записи: } R = B + (F - B) \cdot A$$

Обозначения:

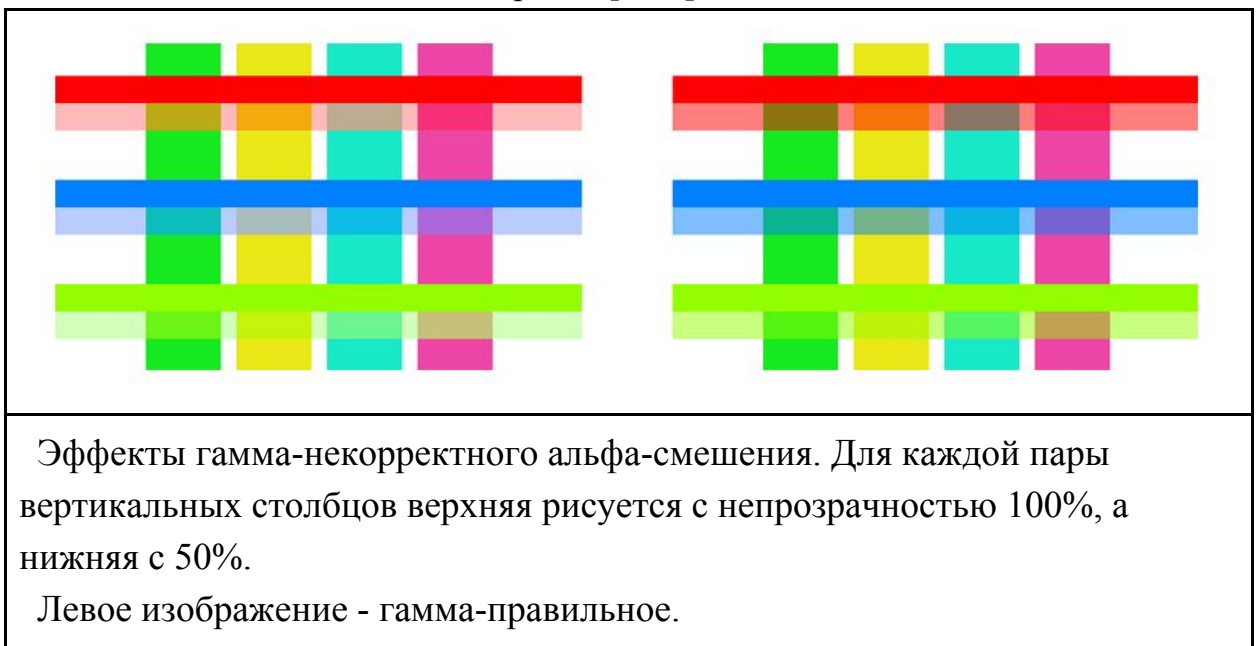
B — яркость фонового пикселя;

F — яркость накладываемого пикселя;

$A \in [0..1]$  — непрозрачность накладываемого пикселя;

R — результат.

Вторая запись отображает следующий смысл: значение A указывает относительное положение на отрезке [B..F].



### Экспериментальная часть

Язык программирования: C++ 14

Выполнено полное решение

Для работы с отрисовкой линии использовался следующий алгоритм: прямая задается двумя точками. Проведем к прямой серединный перпендикуляр. Для этого найдем две точки, лежащие на нем. Зададим  $y$  или  $x$  (если  $x_2 \neq x_1$ ) точки серединного перпендикуляра по формуле в точках 0 и 1.

$$x = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} y + \frac{x_1 + x_2}{2} + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \frac{y_1 + y_2}{2}$$

$$y = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} x + \frac{y_1 + y_2}{2} + \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \frac{x_1 + x_2}{2}$$

Получим две прямые, которые пересекаются в центре линии. Рассчитаем половину длины линии.

$$l = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$$

Представим линию как прямоугольник. Тогда точка лежит в прямоугольнике, если расстояние от этой точки до исходной линии меньше, чем половина толщины, а до серединного перпендикуляра меньше длины. Воспользуемся формулой расстояния от точки до прямой, заданной двумя точками:

$$dist = \left| \frac{(y_2 - y_1)x - (x_2 - x_1)y + x_2 y_1 - y_2 x_1}{\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}} \right|$$

Так как нам нужна линия со сглаживанием, воспользуемся следующим способом для определения яркости пикселя в точке: разделим каждый пиксель на 256 маленьких квадратиков. Будем искать расстояние от каждого маленького квадратика до двух прямых и считать, сколько квадратиков каждого пикселя попадают на прямую и закрашивать этот пиксель в соответствии с этим. Немного оптимизируем алгоритм и чтобы не производить вычисления для всех пикселей, сначала выделим пиксели, которые вообще нужно обрабатывать, а потом будем делить на части только их. В решении используется дополнительная память на хранение пикселей, которые нужно будет закрашивать, что ухудшает эффективность по памяти, но улучшает по времени.

Для работы с гамма-коррекцией реализованы функции `gamma` и `ungamma`, которые вызываются при изменении значения пикселя (сначала декодируется значение, которое было до преобразования, затем производится работа с тем

значением, которое было получено после изменения, после чего все гамма-кодируется).

При работе с sRGB-гаммой используются следующие формулы:

$$\gamma(u) = \begin{cases} 12.92u & = \frac{323u}{25} & u \leq 0.0031308 \\ 1.055u^{1/2.4} - 0.055 & = \frac{211u^{\frac{5}{12}} - 11}{200} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\gamma^{-1}(u) = \begin{cases} \frac{u}{12.92} & = \frac{25u}{323} & u \leq 0.04045 \\ \left( \frac{u+0.055}{1.055} \right)^{2.4} & = \left( \frac{200u+11}{211} \right)^{\frac{12}{5}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

## Выводы

В ходе работы был разработан алгоритм, позволяющий рисовать красивые сглаженные линии, а также изучены алгоритмы гамма-коррекции. Алгоритм рисования линий можно было бы улучшить с точки зрения эффективности по памяти, если бы я не складывала в set пиксели, которые нужно обрабатывать, а сразу находила из цвет.

## Листинг

### main.cpp

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <set>
#include "NetPBM.h"

using namespace std;

int main(int argc, char **argv) {
    try {
        if (argc == 666) {
            throw logic_error("Invalid user");
        }
        if (argc != 9 && argc != 10) {
```



```

        throw logic_error("Invalid argument count");
    }
    char *infilename = argv[1];
    char *outfilename = argv[2];
    int brightness = atoi(argv[3]);
    double line_width = atof(argv[4]);
    auto *point_1 = new point_t();
    (*point_1).x = atof(argv[5]);
    (*point_1).y = atof(argv[6]);
    auto *point_2 = new point_t();
    (*point_2).x = atof(argv[7]);
    (*point_2).y = atof(argv[8]);
    double gamma = -1;
    if (argc == 10) {
        gamma = atof(argv[9]);
        if (gamma <= 0) {
            throw logic_error("Invalid gamma");
        }
    }

    auto * file = new ifstream (infilename,
std::ios::binary);

    (*file).unsetf(ios_base::skipws);
    if (!(*file).is_open()) {
        delete file;
        delete point_1;
        delete point_2;
        throw logic_error("Can't open file to read");
    }

    auto *netPcm = new NetPBM(file);

    netPcm->draw_thick_line(point_1, point_2, line_width,
brightness, gamma);

```

```

        auto* outfile = new ofstream (outfilename,
std::ios::binary);

        if (!outfile->is_open()) {

            file->close();

            delete file;

            delete outfile;

            delete netPcm;

            delete point_1;

            delete point_2;

            throw logic_error("Can't open file to write");

        }

        netPcm->write_to_file(outfile);

        outfile->close();

        file->close();

        delete file;

        delete outfile;

        delete netPcm;

        delete point_1;

        delete point_2;

        return 0;

    }

    catch (const logic_error &error) {

        cerr << error.what() << endl;

        return 1;

    }

}

```

## NetPBM.h

```

#include <iostream>

#include <fstream>

#include <cstdint>

```

```

#include <cstdlib>

#include <cmath>

#include <set>


#ifndef LAB2KGIG_NETPBM_H
#define LAB2KGIG_NETPBM_H


using namespace std;

struct point_t {
    double x;
    double y;
};


class NetPBM {
private:
    ifstream *file;
    uint16_t type = -1;
    uint16_t width = -1;
    uint16_t height = -1;
    uint16_t depth = -1;
    unsigned char **array;

    void read_header() {
        unsigned char buf;
        *this->file >> buf;
        if (buf != 'P') {
            throw logic_error("Bad file");
        }
        *this->file >> buf;
        if (buf == '1' || buf == '2' || buf == '3' || buf == '4'
|| buf == '6' || buf == '7') {

```

```

        throw logic_error("Not supported type of NetPCM");
    } else if (buf == '5')
        this->type = 5;
    else {
        throw logic_error("Bad file");
    }
    *this->file >> buf;
    *this->file >> this->width;
    *this->file >> buf;
    *this->file >> this->height;
    *this->file >> buf;
    *this->file >> this->depth;
    if (this->depth != 255) {
        throw logic_error("Not supported non 255 colors
count");
    }
}

void read_data() {
    for (int i = 0; i < this->height; i++) {
        for (int j = 0; j < this->width; j++) {
//            array[i][j] = 0;
            *this->file >> this->array[i][j];
        }
    }
}

//
https://en.wikipedia.org/wiki/SRGB#The\_sRGB\_transfer\_function\_\(%
22gamma%22\)

static double gammasRGB(double u) {
    if (u <= 0.0031308) {

```

```

        return 323 * u / 25.;
    } else {
        return (211. * pow(u, 5. / 12.) - 11.) / 200.;
    }
}

static double ungammasRGB(double u) {
    if (u <= 0.04045) {
        return 25 * u / 323;
    } else {
        return pow((200. * u + 11.) / 211., 12. / 5.);
    }
}

static double gamma(double u, double gamma) {
    return pow(u, 1.0 / gamma);
}

static double ungamma(double u, double gamma) {
    return pow(u, gamma);
}

void draw_point(int x, int y, double pixel_color, int
brightness, double gamma_value) {
    double brightness_value = ((double) brightness) /
(double) depth;

    if (!(x < width && y < height && x >= 0 && y >= 0 &&
brightness >= 0 && brightness <= depth))
        throw invalid_argument("Invalid argument");

```

```

        double value = ((double) this->array[y][x]) /
this->depth;

        if (gamma_value == -1) {
            value = ungammasRGB(value);
            brightness_value = ungammasRGB(brightness_value);
        } else {
            value = ungamma(value, gamma_value);
            brightness_value = ungamma(brightness_value,
gamma_value);
        }

        value = value + pixel_color * (brightness_value - value);
        if (gamma_value == -1) {
            value = gammasRGB(value);
        } else {
            value = gamma(value, gamma_value);
        }

        if (value >= 1 - 1 / 1e9)
            value = 1;

        int temp = round(this->depth * value);
        if (temp > 255)
            temp = 255;

        this->array[y][x] = (unsigned char) temp;
    }

static void swap(point_t *a, point_t *b) {
    auto *buf = new point_t;

    *buf = *a;
    *a = *b;
    *b = *buf;

    delete buf;
}

```

```

public:

    int16_t getType() const {
        return type;
    }

    double perp_point_y(double x1, double y1, double x2, double
y2, double x) {
        return (-(x2 - x1) / (y2 - y1) * x + (y1 + y2) / 2 + (x2
- x1) / (y2 - y1) * (x1 + x2) / 2);
    }

    double perp_point_x(double x1, double y1, double x2, double
y2, double y) {
        return (-(y2 - y1) / (x2 - x1) * y + (x1 + x2) / 2 + (y2
- y1) / (x2 - x1) * (y1 + y2) / 2);
    }

    double dist(double x1, double y1, double x2, double y2,
double x, double y) {
        return abs((y2 - y1) * x - (x2 - x1) * y + x2 * y1 - y2 *
x1) /
            (sqrt(pow((y2 - y1), 2) + pow((x2 - x1), 2)));
    }

    void draw_thick_line(point_t *point_1, point_t *point_2,
double thickness, int brightness, double gamma_value) {
        double dy = abs(point_2->y - point_1->y);
        auto *rline_points = new set<pair<int, int>>;
        double dx = abs(point_2->x - point_1->x);
        if (dx != 0) {
            if (point_2->x < point_1->x) {
                swap(point_1, point_2);
            }
        }
    }

```

```

    }

    double grad = 3 * thickness / dx;
    for (double i = point_1->x; i <= point_2->x;) {
        double j = (i - point_1->x) * (point_2->y -
point_1->y) / (point_2->x - point_1->x) + point_1->y;
        for (int x = (int) (i - thickness / 2.) - 3;
            x <= (int) (i + thickness / 2. + 1) + 3;
x++) { // Find pixels in circle by searching in square
            for (int y = (int) (j - thickness / 2.) - 3;
y <= (int) (1 + j + thickness / 2.) + 3; y++) {
                if (x >= 0 && y >= 0 && x < this->width
&& y < this->height)

                    rline_points->insert(make_pair(x,
y));

            }

        }

        i += grad;
    }
} else {

    if (point_2->y < point_1->y) {
        swap(point_1, point_2);
    }

    double grad = 3 * thickness / dy;
    for (double i = point_1->y; i <= point_2->y;) {
        double j = (i - point_1->y) * (point_2->x -
point_1->x) / (point_2->y - point_1->y) + point_1->x;
        for (int y = (int) (i - thickness / 2.) - 3;
            y <= (int) (i + thickness / 2. + 1) + 3;
y++) { // Find pixels in circle by searching in square
            for (int x = (int) (j - thickness / 2.) - 3;
x <= (int) (1 + j + thickness / 2.) + 5; x++) {
                if (x >= 0 && y >= 0 && x < this->width
&& y < this->height)

```



```

rline_points->insert(make_pair(x,
y));

    }

}

i += grad;

}

}

double koef;

double y_perp_0, y_perp_1, x_perp_0, x_perp_1;

if (dy != 0) {

    y_perp_0 = perp_point_y(point_1->x, point_1->y,
point_2->x, point_2->y, 0);

    y_perp_1 = perp_point_y(point_1->x, point_1->y,
point_2->x, point_2->y, 1);

} else {

    x_perp_0 = perp_point_x(point_1->x, point_1->y,
point_2->x, point_2->y, 0);

    x_perp_1 = perp_point_x(point_1->x, point_1->y,
point_2->x, point_2->y, 1);

}

double line_length = (sqrt(pow((point_2->y - point_1->y),
2) + pow((point_2->x - point_1->x), 2)));

for (pair<int, int> p : *rline_points) {

    int color = 0;

    int x = p.first;

    int y = p.second;

    for (int i = 0; i < 16; i++) {

        for (int j = 0; j < 16; j++) {

            double x_choord = (double) x + ((double) i) /
16. + 1 / 32.;

```

```

        double y_choord = (double) y + ((double) j) /
16. + 1 / 32.;

        double s = dist(point_1->x, point_1->y,
point_2->x, point_2->y, x_choord, y_choord);

        double r;

        if (dy != 0)
            r = dist(0, y_perp_0, 1, y_perp_1,
x_choord, y_choord);
        else
            r = dist(x_perp_1, 1, x_perp_0, 0,
x_choord, y_choord);

        if (s < thickness / 2. && r < line_length /
2.)

            color++;

    }

}

if (color > 255)
    color = 255;

draw_point(x, y, color / 255., brightness,
gamma_value);
}

//      }

delete rline_points;
}

void write_to_file(ofstream *outfile) {
    *outfile << "P5" << (unsigned char) (10) << width << " "
<< height << (unsigned char) (10) << depth
        << (unsigned char) (10);

    for (int i = 0; i < height; i++) {
        for (int j = 0; j < width; j++) {

```

```

        *outfile << array[i][j];
    }
}

explicit
NetPBM(istream
        *file) {
    this->file = file;
    this->read_header();
    file->ignore(1);
    this->array = new unsigned char *[height];
    for (int i = 0; i < this->height; i++) {
        this->array[i] = new unsigned char [width];
    }
    read_data();
}

~NetPBM() {
    for (int i = 0; i < height; i++) {
        delete[] array[i];
    }
    delete[] array;
}

};

#endif //LAB2KGIG_NETPBM_H

```