

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МО ЭВМ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №1**  
**по дисциплине «Построение и анализ алгоритмов»**  
**Тема: Поиск с возвратом**

Студентка гр. 9382

Русинов Д.А.

Преподаватель

Фирсов М.А.

Санкт-Петербург

2021

### **Цель работы.**

Получить представление о решении NP — полных задач, изучить такой метод решения, как поиск с возвратом, проследить зависимость количества операций для решения поставленной задачи от входных данных.

### **Задание.**

У Вовы много квадратных обрезков доски. Их стороны (размер) изменяются от 1 до  $N-1$ , и у него есть неограниченное число обрезков любого размера. Но ему очень хочется получить большую столешницу - квадрат размера  $N$ . Он может получить ее, собрав из уже имеющихся обрезков(квадратов). Например, столешница размера  $7 \times 7$  может быть построена из 9 обрезков.

Внутри столешницы не должно быть пустот, обрезки не должны выходить за пределы столешницы и не должны перекрываться. Кроме того, Вова хочет использовать минимально возможное число обрезков.

Входные данные:

Размер столешницы - одно целое число  $N(2 \leq N \leq 20)$ .

Выходные данные:

Одно число  $K$ , задающее минимальное количество обрезков(квадратов), из которых можно построить столешницу(квадрат) заданного размера  $N$ . Далее должны идти  $K$  строк, каждая из которых должна содержать три целых числа  $x$ ,  $y$  и  $w$ , задающие координаты левого верхнего угла ( $1 \leq x, y \leq N$ ) и длину стороны соответствующего обрезка (квадрата).

Вариант 1р. Рекурсивный бэктрекинг. Выполнение на Stepik всех трёх заданий в разделе 2.

### **Описание алгоритма.**

Первоначально необходимо завести две матрицы размера  $N \times N$ , где  $N$  – размер данного квадрата, обе матрицы заполняются нулями. В первой матрице будет происходить перебор решений для квадрата, а во второй будет содержаться оптимальное решение для данного квадрата. При этом в ходе работы алгоритма, матрица, в которой происходит перебор решений, может стать оптимальной.

После создания двух матриц, необходимо инициализировать первоначальные значения в них:

- 1) В оптимальную матрицу вставляется квадрат размера  $N-1$ , затем в матрице остается пространство только для единичных квадратов, поэтому они вставляются до тех пор, пока матрица не будет полностью заполнена.
- 2) В матрицу, в которой происходит перебор решений, вставляется 3 квадрата, которые занимают 75% площади квадрата. Поэтому перебор квадратов будет происходить в оставшихся 25% площади квадрата.

Далее начинается перебор размера квадрата, который можно поставить по координатам с пустой ячейкой. Перебор происходит от большего размера к меньшему. Если квадрат возможно поставить, то происходит его вставка. Затем выполняется поиск свободной клетки в матрице перебора. Если же свободная клетка есть, то необходимо перебрать и для этой клетки квадрат, который можно поставить. Таким образом, формируется рекурсивная функция. Если же свободных ячеек в матрице более нет, то квадрат считается заполненным. Необходимо сравнить количество квадратов, которое находится в текущей матрице и в оптимальной матрице. Если количество квадратов в оптимальной матрице больше, чем в текущей, то текущая матрица становится оптимальной. Так как квадрат является заполненным, то более не будет вызова рекурсивной функции. В таком случае будет произведено удаление последнего поставленного квадрата в матрице перебора и выход из функции. Также при входе в рекурсивную функцию стоит проверить текущее количество квадратов в матрице перебора и сравнить с количеством квадратов в оптимальной матрице. Если

квадратов в оптимальной матрице уже меньше, чем в матрице перебора, то далее перебирать квадраты не имеет смысла, а стоит прервать эту ветку перебора. После завершения перебора выводится на экран результат оптимальной матрицы.

### **Использованные оптимизации.**

- 1) Матрицу перебора изначально можно заполнить на 75% тремя квадратами.
- 2) Поскольку матрица перебора заполнена на 75%, то поиск свободной клетки, куда можно поставить квадрат, можно осуществлять только в оставшихся 25% квадрата.
- 3) Квадрат с четной стороной имеет постоянное решение – 4 квадрата. Поэтому можно не осуществлять перебор для таких квадратов, а сразу выводить ответ.
- 4) Сжатие квадрата. Квадрат с размером  $N$ , можно сжать до размера значения наименьшего простого делителя числа  $N$ . Например, квадрат размера 15 можно сжать до размера 3 и осуществлять перебор для квадрата размера 3. Результат количества квадратов будет одинаков.
- 5) Проверка количества квадратов в текущей матрице перебора и в оптимальной матрице. Если в текущей матрице перебора квадратов уже больше, чем в оптимальной матрице, то продолжать перебор нет смысла для текущей расстановки квадратов, лучшего решения уже не добиться.
- 6) Поскольку 75% квадрата заполнены, то максимальный размер квадрата, который можно поставить в матрицу перебора –  $N // 2$ .

### **Описание рекурсивной функции.**

```
void _solve(int x, int y);
```

Данный метод находится в классе `SquareSolver`. Метод принимает координаты  $x$  и  $y$ , где расположена пустая ячейка в матрице перебора, и начинает перебор квадратов от большего размера к меньшему. Если квадрат удалось поставить, и есть еще свободное пространство в матрице перебора, то

происходит вызов рекурсивного метода для найденной пустой ячейки. Для перебора квадратов, которые можно поставить, используется цикл от  $N // 2$  до 0. Если квадрат удалось поставить, то после выполнения последующей необходимой логики, этот квадрат необходимо удалить для дальнейшего перебора квадратов. Данный метод не имеет возвращаемого значения, поскольку экземпляр класса SquareSolver имеет поля `_currentMap` и `_optimalMap`. Результат работы метода будет записан в поле `_optimalMap`.

### **Оценка сложности по времени.**

Поскольку используется довольно большое количество оптимизаций, то дать точную оценку сложности алгоритма – трудоемкая задача. Было принято решение дать алгоритму верхнюю границу того, сколько квадратов он переберет.

Поскольку перебор квадратов происходит в 25% площади всего квадратов, то рассчитаем, сколько останется свободных клеток в матрице. Происходит вставка следующих квадратов –  $(0; 0; N // 2 + 1)$ ,  $(N // 2 + 1; 0; N // 2)$ ,  $(0, N // 2 + 1; N // 2)$ . Запись содержит  $x$ ,  $y$  и размер квадрата соответственно. После вставки данных квадратов, остается  $(N // 2 + 1)^2 - 1$  свободных клеток. Перебираются следующие размеры квадратов –  $[N // 2; 1]$ . Максимальная возможная рекурсия зависит от количества свободных клеток изначально –  $(N // 2 + 1)^2 - 1$ .

Таким образом, приходим к следующему результату:

$((N // 2 + 1)^2 - 1)$  - количество свободных клеток \*  $(N // 2)$  - возможные размеры квадратов \*  $((N // 2 + 1)^2 - 1)$  - максимальная рекурсия.

Результат –  $O(((N // 2 + 1)^2 - 1)^2 * (N // 2))$ .

### **Оценка сложности алгоритма по памяти.**

Всего используется два матрица, которые содержат текущее решение и оптимальное решение, поэтому сложность по памяти –  $O(2 * N)$ , где  $N$  – размер квадрата.

### **Тестирование.**

Тестирование проведено с помощью системы Stepik. Также результаты представлены в таблице ниже.

Таблица 1. Результаты работы программы

Входные данные	Выходные данные без промежуточного вывода
3	6 1 1 2 3 1 1 3 2 1 1 3 1 2 3 1 3 3 1
5	8 1 1 3 4 1 2 4 3 2 1 4 2 3 4 1 3 5 1 4 5 1 5 5 1
7	9 1 1 4 5 1 3 5 4 2 7 4 1 1 5 3 4 5 1 7 5 1 4 6 2 6 6 2
9	6

	1 1 6 7 1 3 7 4 3 1 7 3 4 7 3 7 7 3
11	11 1 1 6 7 1 5 7 6 3 10 6 2 1 7 5 6 7 1 6 8 1 10 8 1 11 8 1 6 9 3 9 9 3
12	4 1 1 6 7 1 6 1 7 6 7 7 6
37	15 1 1 19 20 1 18 20 19 2 22 19 5 27 19 11 1 20 18 19 20 1 19 21 3 19 24 8

	27 30 3
	30 30 8
	19 32 6
	25 32 1
	26 32 1
	25 33 5

### **Выводы.**

Был реализован поиск с возвратом для поиска минимального количества непересекающихся квадратов, заполняющих исходный квадрат. Была написана рекурсивная функция, которая выполняет поставленную задачу.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**



## ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

Название файла: main.cpp

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <ctime>

// Данная переменная отвечает за уровень рекурсии в данный момент
времени
int RECURSION_LEVEL = 0;

class MessagePrinter {

    // Класс предназначен для вывода промежуточных данных
    // Чтобы избавиться от некрасивого кода в алгоритме решения
задачи

    static void _printMsgWithRecursionLevel(const std::string&
message) {

        std::string recursionLevelString = std::string();
        for (int i = 0; i < RECURSION_LEVEL; ++i)
recursionLevelString += "_";
        std::cout << recursionLevelString << message;
    }

public:

    static void optimalLessCurrent(int x, int y, int countInOptimal,
int countInCurrent) {

        std::string msg = "Кол-во квадратов оптимальной карты [" +
std::to_string(countInOptimal) + "] ";
        msg += "<=", чем кол-во квадратов карты перебора [" +
std::to_string(countInCurrent) + "];";
        msg += ", далее смысла перебирать нет.\n";
        msg = "[" + std::to_string(x) + "; " + std::to_string(y) +
"] " + msg;
```

```

        _printMsgWithRecursionLevel(msg);
    }

    static void enterInRecursion(int x, int y) {
        std::string msg = "Вход в рекурсию\n";
        msg = "[" + std::to_string(x) + "; " + std::to_string(y) +
"] " + msg;
        _printMsgWithRecursionLevel(msg);
    }

    static void tryToSetSquare(int x, int y, int size, bool canSetSq)
{
        std::string msg = "Попытка поставить квадрат размера " +
std::to_string(size);
        if (canSetSq) msg += " была удачной\n";
        else msg += " была неудачной\n";
        msg = "[" + std::to_string(x) + "; " + std::to_string(y) +
"] " + msg;
        _printMsgWithRecursionLevel(msg);
    }

    static void isThereEmpty(int x, int y, bool isThereEmpty, int
newX = 0, int newY = 0) {
        std::string msg = "В квадрате";
        if (isThereEmpty)
            msg += " есть пустая клетка по координатам (" +
std::to_string(newX) + "; " + std::to_string(newY) + ")\n";
        else
            msg += " нет пустых клеток. Он полностью заполнен\n";

        msg = "[" + std::to_string(x) + "; " + std::to_string(y) +
"] " + msg;
        _printMsgWithRecursionLevel(msg);
    }

    static void currentLessOptimal(int x, int y, bool isLess, int
countInCurrent, int countInOptimal) {
        std::string msg = "Кол-во квадратов в карте перебора [" +
std::to_string(countInCurrent) + "]\n";

```

```

        if (isLess) {
            msg += " <, чем в оптимальной карте [" +
std::to_string(countInOptimal) + "].";
            msg += " Поэтому текущая карта перебора становится
оптимальной.\n";
        }
        else msg += " >=, чем в оптимальной карте [" +
std::to_string(countInOptimal) + "].\n";
        msg = "[" + std::to_string(x) + "; " + std::to_string(y) +
"] " + msg;
        _printMsgWithRecursionLevel(msg);
    }

    static void removeSquare(int x, int y, int size) {
        std::string msg = "Был удален квадрат размера [" +
std::to_string(size) + "]" +
        msg += "для дальнейшего перебора.\n";
        msg = "[" + std::to_string(x) + "; " + std::to_string(y) +
"] " + msg;
        _printMsgWithRecursionLevel(msg);
    }
};

class SquareMap {
    int _size;
    int _compression;
    int _countSquares = 0;
    std::vector<std::vector<int>> _array;

public:
    SquareMap(int size, int compression) : _size(size),
_compression(compression) {
        _array.resize(size);
        for (int i = 0; i < size; ++i) _array[i].resize(size, 0);
    }

    int countSquares() const {
        return _countSquares;
    }
};

```

```

}

void insertSquare(int x, int y, int size) {

    // Метод вставки квадрата в карту
    // по координатам x и y размера size

    _countSquares++;
    for (int i = y; i < y + size; ++i) {
        for (int j = x; j < x + size; ++j)
            _array[i][j] = size;
    }
}

```

```

void removeSquare(int x, int y, int size) {

    // Метод удаления квадрата из карты
    // по координатам x и y размера size

    _countSquares -= 1;
    for (int i = y; i < y + size; ++i) {
        for (int j = x; j < x + size; ++j)
            _array[i][j] = 0;
    }
}

```

```

bool canSetSquare(int x, int y, int size) {

    // Метод проверки, можно ли вставить квадрат размера size в
    карту

    // по координатам x и y

    if (x + size > _size || y + size > _size)
        return false;

    for (int i = y; i < y + size; ++i) {
        for (int j = x; j < x + size; ++j)
            if (_array[i][j]) return false;
    }
}

```

```

        return true;
    }

    bool isThereEmpty(int& x, int& y) {

        // Метод проверки, есть ли пустое пространство в квадрате
        // Поскольку 75 % площади квадрата уже заняты изначально
        // то есть смысл искать пустое пространство только в 25%
        площади всего квадрата

        while (_array[y][x]) {
            if (x == _size - 1) {
                if (y == _size - 1) return false;
                x = _size / 2;
                y++;
                continue;
            }
            x++;
        }
        return true;
    }

    explicit operator std::string() {

        // Метод преобразования карты в тип std::string

        auto text = std::string();
        text.append(std::to_string(_countSquares) + "\n");
        for (int y = 0; y < _size; ++y) {
            for (int x = 0; x < _size; ++x) {
                if (_array[y][x]) {
                    auto size = std::to_string(_array[y][x] *
_compression);

                    auto transformedX = std::to_string(x *
_compression + 1);

                    auto transformedY = std::to_string(y *
_compression + 1);

                    auto row = std::string();

```

```

        row.append(transformedX + " ");
        row.append(transformedY + " ");
        row.append(size + "\n");
        text.append(row);
        removeSquare(x, y, _array[y][x]);
    }
}
}
return text;
}
};

```

```

class SquareSolver {
    int _size;
    int _compression;
    SquareMap* _currentMap;
    SquareMap* _optimalMap;

    static std::pair<int, int> _doCompression(int size) {

        // Метод поиска наименьшего общего делителя в размере
квадрата

        // Это одна из оптимизаций

        int compression = 1;
        int compressedSize = size;

        for (int delimiter = size / 2; delimiter > 1; --delimiter) {
            if (!(size % delimiter)) {
                compression = delimiter;
                compressedSize = size / delimiter;
                break;
            }
        }

        std::cout << "Было выполнено сжатие размера квадрата" <<
std::endl;

```

```

        std::cout << "Текущий размер квадрата - " <<
std::to_string(compressedSize) << std::endl;
        std::cout << "Коэффициент сжатия - " <<
std::to_string(compression) << std::endl;

        return {compressedSize, compression};
    }

    void _initOptimalMap() {

        // Метод инициализации первоначальной оптимальной карты
        // Ставим квадрат N-1 размера и окружаем его квадратами
единичного размера

        std::cout << "Инициализация оптимальной карты" << std::endl;

        _optimalMap->insertSquare(0, 0, _size - 1);
        for (int y = 0; y < _size; ++y)
            _optimalMap->insertSquare(_size - 1, y, 1);
        for (int x = 0; x < _size - 1; ++x)
            _optimalMap->insertSquare(x, _size - 1, 1);

        std::cout << "Начальная оптимальная карта имеет " <<
_optimalMap->countSquares() << " квадратов\n";

    }

    void _initCurrentMap() {

        // Метод инициализации карты перебора
        // Используется оптимизация, что 75% площади квадрата можно
сразу покрыть 3-мя квадратами

        std::cout << "Инициализация карты для перебора" << std::endl;

        _currentMap->insertSquare(0, 0, _size / 2 + 1);
        _currentMap->insertSquare(_size / 2 + 1, 0, _size / 2);
        _currentMap->insertSquare(0, _size / 2 + 1, _size / 2);
    }

```

```

        std::cout << "Карта для перебора заполнена на 75%" <<
std::endl;

    }

    void _solveEvenSquare() {

        // Квадрат с четной стороной имеет заранее определенное
значение
        // Его сразу можно покрыть 4-мя квадратами

        std::cout << "Квадрат имеет четную сторону, поэтому его
оптимальное решение - 4 квадрата" << std::endl;

        _optimalMap->insertSquare(0, 0, 1);
        _optimalMap->insertSquare(0, 1, 1);
        _optimalMap->insertSquare(1, 0, 1);
        _optimalMap->insertSquare(1, 1, 1);
    }

    void _solve(int x, int y) {

        // Рекурсивная функция перебора квадратов в карте перебора

        // Если кол-во квадратов в оптимальной карте уже меньше, чем
в карте перебора
        // То дальше перебор квадратов не имеет смысла и можно
откинуть эту ветку

        if (_optimalMap->countSquares() <=
_currentMap->countSquares()) {
            MessagePrinter::optimalLessCurrent(x, y,
_optimalMap->countSquares(), _currentMap->countSquares());
            return;
        }

        MessagePrinter::enterInRecursion(x, y);
    }

```



```

        // Перебор размера квадрата, который будет поставлен по
        координатам X и Y от большего к меньшему

        for (int size = _size / 2; size > 0; --size) {
            if (_currentMap->canSetSquare(x, y, size)) {
                _currentMap->insertSquare(x, y, size);

                MessagePrinter::tryToSetSquare(x, y, size, true);

                int copyX = x;
                int copyY = y;

                // На данной позиции уже поставлен квадрат
                // Теперь необходимо проверить, осталось ли пустое
                пространство в карте перебора
                // Если пространство осталось, то в переменные copyX
                и copyY будет записана первая
                // найденная клетка, где ничего не стоит
                // Из этой клетки вновь запускается рекурсивная
                функция перебора

                // Если пустого пространства нет, то карта заполнена
                и необходимо

                // сравнить кол-во квадратов в карте перебора и в
                оптимальной карте

                // Если в карте перебора оказывается меньше квадратов,
                то она становится оптимальной

                // Затем поставленный квадрат удаляется из карты
                перебора для дальнейшего перебора
                // размера квадрата, который можно поставить

                bool isThereEmpty = _currentMap->isThereEmpty(copyX,
                copyY);

                if (!isThereEmpty) {

                    MessagePrinter::isThereEmpty(x, y, false);

```

```

        if (_currentMap->countSquares() <
_optimalMap->countSquares()) {
            MessagePrinter::currentLessOptimal(x, y,
true, _currentMap->countSquares(), _optimalMap->countSquares());
            *_optimalMap = *_currentMap;
        } else MessagePrinter::currentLessOptimal(x, y,
false, _currentMap->countSquares(), _optimalMap->countSquares());
        } else {

            MessagePrinter::isThereEmpty(x, y, true, copyX,
copyY);

            RECURSION_LEVEL ++ ;
            _solve(copyX, copyY);
            RECURSION_LEVEL -- ;
        }

        _currentMap->removeSquare(x, y, size);
        MessagePrinter::removeSquare(x, y, size);
    } else MessagePrinter::tryToSetSquare(x, y, size, false);
}

}

public:
    explicit SquareSolver(int size) {
        auto resultOfCompression = _doCompression(size);
        _size = resultOfCompression.first;
        _compression = resultOfCompression.second;
        _currentMap = new SquareMap(_size, _compression);
        _optimalMap = new SquareMap(_size, _compression);
    }

    SquareMap* solve() {
        if (!(_size % 2)) _solveEvenSquare();
        else {
            _initOptimalMap();
            _initCurrentMap();
            _solve(_size / 2 + 1, _size / 2);
        }
    }

```

```

        return _optimalMap;
    }
};

int main() {
    int size;
    std::cin >> size;
    std::cout << (std::string) *SquareSolver(size).solve() <<
std::endl;
    return 0;
}

```