

# 结对编程

1913632 曾兀

1910842 苗泽昀

## 目录

### 目录

#### 一、编程实现

命令行参数处理

数独终盘生成

数独游戏生成

数独游戏求解

#### 二、质量分析

静态分析

编程规范检查

代码缺陷检查

动态分析

#### 三、单元测试

#### 四、用户手册——数独生成及求解器用户手册

1 引言

1.1 编写目的

1.2 背景

2 用途

3 运行环境

4 使用说明

## 一、编程实现

本次结对编程作业任务要求：

1. 采用C++语言实现
2. 可以使用.Net Framework
3. 运行环境为64-bit Windows 10
4. 代码经过质量分析并消除警告
5. 写出至少10个测试用例来覆盖主要功能，统计覆盖率
6. 使用GitHub来管理源代码和测试用例，根据正常进度及时提交commit

最终完成项目已经上传至GitHub，链接为 <https://github.com/MAG1CPI/Sudoku-generator>。

## 命令行参数处理

因为本次实验要求编写的数独游戏生成及求解器为控制台程序，因此当用户在使用该程序时所有的参数都是通过命令行输入的，所以实现的程序必须能够对用户输入的参数进行分析，并根据设定的规则来匹配来执行不同的函数完成数独终局、游戏生成或数独游戏求解的操作，对不符合要求的参数应当打印相应的报错信息提示给用户。

在Linux中，获取命令行参数可以通过 GNU 标准库头文件 `unistd.h` 自带的 `getopt()` 实现，但是由于该函数不是 ANSI C 标准库的一部分，所以在 Windows 下并无标准库对其进行实现。但是在 GitHub 上的开源项目 [win-c](#) 将该函数移植到了 Windows 平台中，使得调用程序可以对 Windows 平台下控制台程序参数解析，于是我们将其导入到我们的项目中。

`Command::parse_arg()` 函数通过多次调用 `getopt()` 函数即可依次解析获得用户输入的命令行参数：如果用户输入的参数是合法的，那么则设置相应标志位，后续由 `Command::handle()` 函数调用已经实现的数独终盘生成、数独游戏生成、数独游戏求解等接口完成对应功能；否则则通过命令行输出报错并退出程序。

## 数独终盘生成

			5	2				
					7		8	
	6						4	
			3					9
	8				6			
								5
					4		6	
		3						2
9		5						

如上图所示，数独游戏是由一个  $9 \times 9$  的盘面构成，其上存在一些已知的数字。玩家需要根据这些已有信息推理出所有剩余空格的数字，并使其满足每一行、每一列、每一个粗线宫（ $3 \times 3$ ）内的数字均含 1-9 且不重复。以上图为例，其推理结果可能如下：

4	3	8	5	2	1	7	9	6
1	5	9	6	4	7	2	8	3
2	6	7	8	3	9	5	4	1
7	1	4	3	8	5	6	2	9
5	8	2	7	9	6	1	3	4
3	9	6	4	1	2	8	7	5
8	2	1	9	5	4	3	6	7
6	4	3	1	7	8	9	5	2
9	7	5	2	6	3	4	1	8

可以看到，数独终盘具有每一行、每一列、每一个粗线宫（ $3 \times 3$ ）内的数字均含 1-9 且不重复的特点，这也使我们生成终盘时的主要限制条件。

但是如果从 0 开始生成一个数独终盘的话，需要首先生成一行（一列）或是一个粗线宫内的数字并且在后续的生成过程中避免生成违背数独规则的终盘，因此通过学习，我们选择如下的矩阵变化数独终盘生成算法，从一个九宫格出发，通过矩阵变换得到其他九宫格，从而获得整体数独。

算法具体思路：

首先，在中间的宫格生成一个随机的排列：

			a	b	c			
			d	e	f			
			g	h	i			

然后将中间的宫格向两侧作行变换扩展（需要注意的是原本0-1-2的行排列做变换后只有1-2-0和2-0-1的排列是符合数独规则的，列变换也是一样）：

g	h	i	a	b	c	d	e	f
a	b	c	d	e	f	g	h	i
d	e	f	g	h	i	a	b	c

继续采用同样的方式将中间的格子列变换生成上下的宫格：

			c	a	b			
			f	d	e			
			i	g	h			
g	h	i	a	b	c	d	e	f
a	b	c	d	e	f	g	h	i
d	e	f	g	h	i	a	b	c
			b	c	a			
			e	f	d			
			h	i	g			

最后使用左右两个宫格进行行变换，分别上下拓展（也可以使用上下两个宫格进行列变换）：

i	g	h	c	a	b	f	d	e
c	a	b	f	d	e	i	g	h
f	d	e	i	g	h	c	a	b
g	h	i	a	b	c	d	e	f
a	b	c	d	e	f	g	h	i
d	e	f	g	h	i	a	b	c
h	i	g	b	c	a	e	f	d
b	c	a	e	f	d	h	i	g
e	f	d	h	i	g	b	c	a

这样就可以高效快速地生成合法的数独，但这个算法也存在缺陷，生成的数独的宫格之间的相似性较强，符合一定的模式，不能穷举所有的数独，单就本次实验来说是足够的。

```
// 生成数独终局
void Sudoku::gen_endgame(Board* board) {
    char row[9];
    random_row_permutation(row); // 随机生成一串1-9的数字序列
    // 填充第一个宫格
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        (*board)[3][i + 3] = row[i] + '1';
        (*board)[4][i + 3] = row[i + 3] + '1';
        (*board)[5][i + 3] = row[i + 6] + '1';
    }
    // 依次填充剩余的宫格
    // 行变换生成左右两格
    row_col_extend(board, 3, 3, true);
    // 列变换生成上下两格
    row_col_extend(board, 3, 3, false);
    // 列变换生成剩余四格
    row_col_extend(board, 3, 0, false);
    row_col_extend(board, 3, 6, false);
}
```

## 数独游戏生成

数独游戏的生成就是在已经生成好的数独终局基础上进行挖“空”处理。需要注意的就是用户输入的参数中的 **m**（游戏难度）、**r**（挖空范围）和 **u**（是否有唯一解）会对数独游戏的生成产生影响，其中 **m** 和 **r** 影响的都是最终所生成的数独游戏中的“空”的数量，而 **u** 会影响最终所生成的数独游戏是否具有唯一解。

- 如果不限限制所生成的数独游戏是否具有唯一解，那么数独游戏的生成思路就非常简单，只需要挖出所需数量且不重复的“空”即可。
- 如果要保证所生成的数独游戏必须具有唯一解，至少要对挖“空”结果进行判断数独游戏解是否唯一，而这种做法并不高效存在一定浪费，所以我们采用如下方法优化：
  - 每次挖“空”时检查：如果在挖第 **n** 个“空”时游戏的解不唯一了，那么在挖第 **n+1** 个甚至更多“空”时游戏的解肯定唯一。所以为了避免这种情况，我们在挖“空”的过程中，每挖一次，就调用数独游戏求解的接口（下文中讲解具体实现）进行求解判断是否有唯一解，如果有唯一解就继续挖“空”直到达到要求的挖“空”数量；否则就回溯并重新挖“空”。

- 限制试错次数：由于无法在挖“空”过程中保证后续也能存在使得生成的数独游戏解唯一的“空”，所以如果我们在挖“空”过程中频繁遇到解不唯一的情况，就可以认为当前状态下继续挖空无法保证解唯一，需要停止挖“空”，重新生成终局进行挖“空”。

```
// 生成数独游戏
int Sudoku::gen_games(int num, int level, int min_hole_num, int max_hole_num,
bool is_unique) {
    set_hole_num_range(level, &min_hole_num, &max_hole_num);
    while (num > 0) {
        Board board(9, std::vector<char>(9, '$'));
        // 生成数独终局
        gen_endgame(&board);

        // 随机挖“空”
        unsigned int r;
        rand_s(&r);
        int hole = min_hole_num + r % (max_hole_num - min_hole_num + 1);
        if (dig_hole(&board, hole, is_unique) == false) {
            continue;
        }

        games.boards.push_back(board);
        num--;
    }
    games.output();
    return 0;
}

// 挖“空”
bool Sudoku::dig_hole(Board* board, int hole_num, bool is_unique) {
    int count = 0; //记录错误次数，过高(意味着无法生成具有唯一解的数独)则重新生成基础图(即终局)
    while (hole_num > 0) {
        unsigned int r;
        rand_s(&r);
        int x = r % 9;
        rand_s(&r);
        int y = r % 9;
        if ((*board)[x][y] == '$')
            continue;
        char temp = (*board)[x][y];
        (*board)[x][y] = '$';
        // 如果有唯一解要求需要在挖“空”过程中通过求解进行检查
        if (is_unique) {
            if (solve_game(board, is_unique) == true && result.boards.size() ==
1) {
                hole_num--;
                count = 0;
            } else {
                (*board)[x][y] = temp;
                if (count++ > 20) {
                    return false;
                }
            }
        }
    }
}
```

```

    }
    } else {
        hole_num--;
    }
}
return true;
}

```

## 数独游戏求解

实验中使用深度优先+回溯的思路来求解数独。遵循数独的规则，通过尝试的进行填充，如果发现重复了，那么擦除重新进行新一轮的尝试，直到把整个数组填充完成。

算法步骤：

- 首先数独行，列，还有3×3的宫格内数字是 1~9 不能重复。所以我们可以声明布尔数组，表明行列中某个数字是否被使用了，被用过视为 `true`，没用过为 `false`。但是这样过于浪费，所以我们使用位域的方式进行优化，由低到高第 1 至 9 位分别表示数字 1 至 9 在该行/列/块的存在情况，例如：`000001010` 表示 2 和 4 已经存在了。
- 根据数独盘面初始化布尔数组，表明哪些数字已经被使用过了。同时记录有哪些空格需要填补，后续通过深度优先+回溯的方法填补这些空格。
- 根据上一步记录的需要填补的空格尝试去填充数组，只要行，列，3×3 的宫格内出现已经被使用过的数字，我们就不填充，否则尝试填充，并递归填充其他空格。
- 如果填充失败或是全部可能填充尝试完成，那么我们需要回溯。将原来尝试填充的地方修改回来。
- 递归直到数独被填充完成。

并且在具体实现时，考虑到在生成数独游戏时可能如果不限制具有唯一解就有可能生成具有多个解的数独游戏，因此在对数独游戏进行求解时会求出所有解。而在验证数独游戏是否有唯一时，只需要求出存在两个解则提前退出。

```

//数独游戏求解、结果打印及保存
int Sudoku::solve_games_and_save_results(std::string path) {
    games.load(path);
    games.output();
    int i = 1;
    for (Board board : games.boards) {
        solve_game(&board, false);

        std::string file_name = "board" + std::to_string(i) + "'s results.txt";
        result.save(file_name);

        std::cout << "----result of board[" << i << "]----\n";
        result.output();
        i++;
    }
    return 0;
}

//求解单个数独游戏
bool Sudoku::solve_game(Board* board, bool is_unique) {
    init_state(board);

```

```

        return solve_by_dfs(board, 0, is_unique);
    }

    //初始化当前数独宫格状态（哪些数字已经被使用过了，哪些位置是“空”）
    void Sudoku::init_state(Board* board) {
        memset(&state, 0, sizeof(state));
        blanks.clear();
        result.boards.clear();

        for (int i = 0; i < 9; i++) {
            for (int j = 0; j < 9; j++) {
                if ((*board)[i][j] == '$') {
                    blanks.push_back(std::pair<int, int>(i, j));
                } else {
                    int n = (*board)[i][j] - '1';
                    state.flip(i, j, n);
                }
            }
        }
    }

    //通过dfs+回溯的思路求解数独游戏
    bool Sudoku::solve_by_dfs(Board* board, int i, bool is_unique) {
        if (i == blanks.size()) {
            result.boards.push_back(*board);
            if (is_unique && result.boards.size() > 1) {
                return false;
            } else {
                return true;
            }
        }

        int x = blanks[i].first, y = blanks[i].second;

        int mask = state.row[x] | state.col[y] | state.block[(x / 3) * 3 + y / 3];

        for (int num = 0; num < 9; num++) {
            if ((mask & (1 << num)) == 0) {
                state.flip(x, y, num);
                (*board)[x][y] = num + '1';
                if (solve_by_dfs(board, i + 1, is_unique) == false) {
                    state.flip(x, y, num);
                    (*board)[x][y] = '$';
                    return false;
                }
                state.flip(x, y, num);
            }
        }
        (*board)[x][y] = '$';
        return true;
    }
}

```

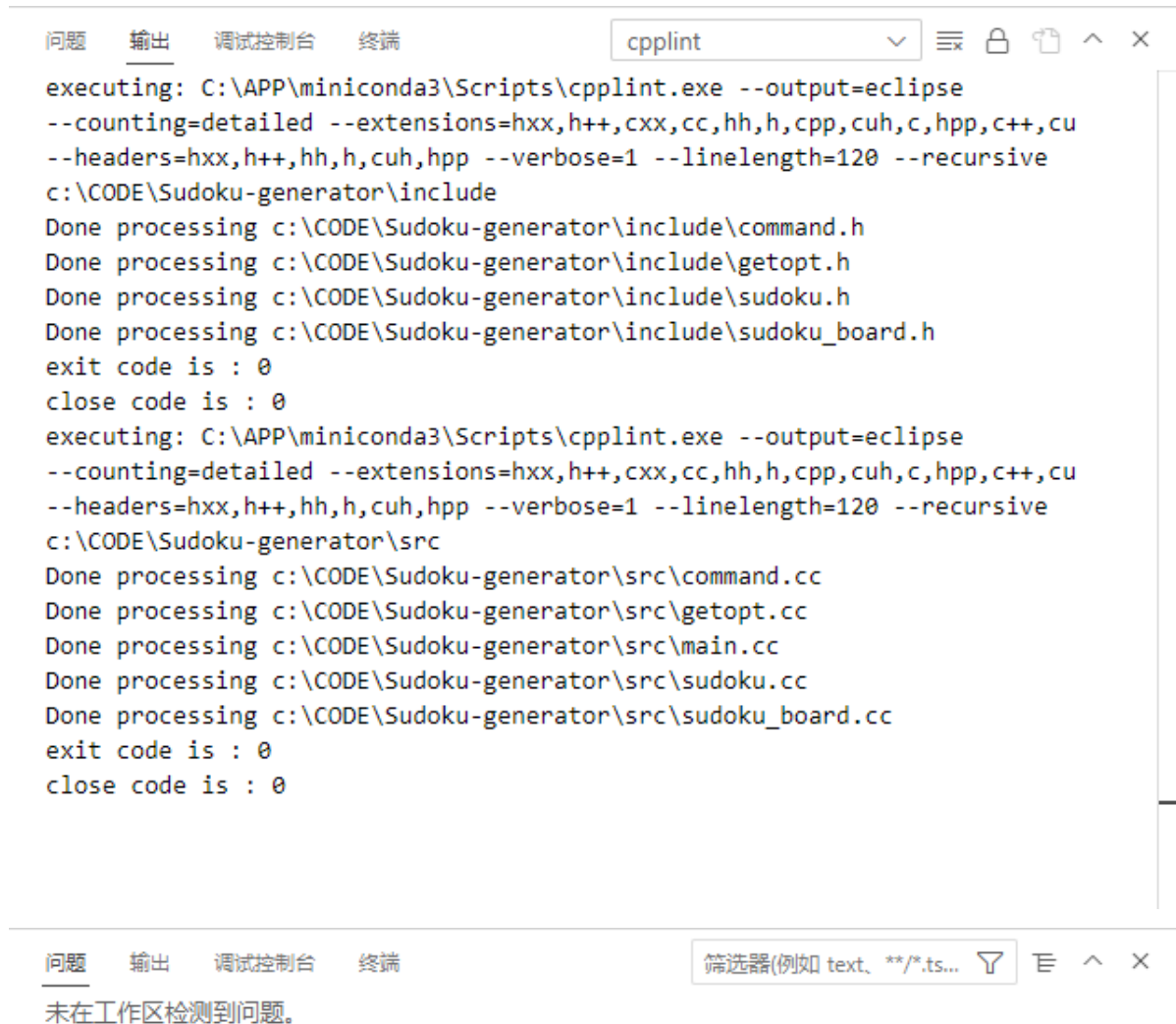
## 二、质量分析

### 静态分析

#### 编程规范检查

本项目遵守 Google C++ 代码规范，在编码过程中持续使用 `Cpplint` 代码静态检测工具进行检查，保证代码符合编程规范。

最终检查结果：



```
问题 输出 调试控制台 终端 cpplint
executing: C:\APP\miniconda3\Scripts\cpplint.exe --output=eclipse
--counting=detailed --extensions=hxx,h++,cxx,cc,hh,h,cpp,cuh,c,hpp,c++,cu
--headers=hxx,h++,hh,h,cuh,hpp --verbose=1 --linelength=120 --recursive
c:\CODE\Sudoku-generator\include
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\include\command.h
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\include\getopt.h
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\include\sudoku.h
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\include\sudoku_board.h
exit code is : 0
close code is : 0
executing: C:\APP\miniconda3\Scripts\cpplint.exe --output=eclipse
--counting=detailed --extensions=hxx,h++,cxx,cc,hh,h,cpp,cuh,c,hpp,c++,cu
--headers=hxx,h++,hh,h,cuh,hpp --verbose=1 --linelength=120 --recursive
c:\CODE\Sudoku-generator\src
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\src\command.cc
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\src\getopt.cc
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\src\main.cc
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\src\sudoku.cc
Done processing c:\CODE\Sudoku-generator\src\sudoku_board.cc
exit code is : 0
close code is : 0

问题 输出 调试控制台 终端 筛选器(例如 text、**/*.ts...
未在工作区检测到问题。
```

可以看出代码已经完全符合Google C++代码规范。



# 代码缺陷检查

代码缺陷检查使用C/C++代码缺陷静态检查工具 `Cppcheck` 。执行的检查包括：自动变量检查；数组的边界检查；class类检查；过期的函数，废弃函数调用检查；异常内存使用，释放检查；内存泄漏检查，主要是通过内存引用指针；操作系统资源释放检查，中断，文件描述符等；异常STL函数使用检查；代码格式错误，以及性能因素检查等。

最终检查结果：



可以看出代码中不存在静态检查工具可发现的缺陷。

# 动态分析

性能测试使用 `gprof` (GNU profiler, 是GNU binutils工具集中的一个工具, 可以分析程序的性能, 能给出函数调用时间、调用次数和调用关系, 找出程序的瓶颈所在。在编译和链接选项中都加入 `-pg` 之后, `gcc` 会在每个函数中插入代码片段, 用于记录函数间的调用关系和调用次数, 并采集函数的调用时间) 这里设定调用 `sudoku.exe` 时的参数设置为 `-c 1000 -n 1000 -m 3 -u`, 最终得到的性能分析结果为 (只截取了部分关键结果) :

```
Flat profile:

Each sample counts as 0.01 seconds.
%   cumulative   self           self       total
time  seconds  seconds   calls   s/call   s/call   name
31.23    1.19    1.19                _mcount_private
26.51    2.20    1.01   60816     0.00     0.00
Sudoku::solve_by_dfs(std::vector<std::vector<char, std::allocator<char> >,
std::allocator<std::vector<char, std::allocator<char> > >*>, int, bool)
21.78    3.03    0.83                __fentry__
12.34    3.50    0.47 115782056     0.00     0.00  Sudoku::State::flip(int,
int, int)
 2.62    3.60    0.10 121567285     0.00     0.00
std::vector<std::vector<char, std::allocator<char> >,
std::allocator<std::vector<char, std::allocator<char> > >*>::operator[](unsigned
long long)
 2.36    3.69    0.09 121567285     0.00     0.00  std::vector<char,
std::allocator<char> >::operator[](unsigned long long)
 1.57    3.75    0.06 112574212     0.00     0.00  std::vector<std::pair<int,
int>, std::allocator<std::pair<int, int> >*>::operator[](unsigned long long)
 0.52    3.77    0.02   60816     0.00     0.00
Sudoku::init_state(std::vector<std::vector<char, std::allocator<char> >,
std::allocator<std::vector<char, std::allocator<char> > >*>)
 0.26    3.78    0.01  5224612     0.00     0.00  std::pair<int, int>&&
std::forward<std::pair<int, int> >(std::remove_reference<std::pair<int, int>
>::type&)
 0.26    3.79    0.01   690423     0.00     0.00
__gnu_cxx::new_allocator<char>::allocate(unsigned long long, void const*)
 0.26    3.80    0.01   688383     0.00     0.00  std::vector<char,
std::allocator<char> >::begin() const
 0.26    3.81    0.01   60816     0.00     0.00
Sudoku::solve_game(std::vector<std::vector<char, std::allocator<char> >,
std::allocator<std::vector<char, std::allocator<char> > >*>, bool)
.....
```

可以看出数独终局的生成在经过优化后的时间开销已经很低, 而关键的性能瓶颈在 `solve_by_dfs()` 函数, 因为在生成具有唯一解的数独游戏和数独游戏的解答中都会使用到该函数, 该函数还是递归实现。因此在后续的工作中应当着重优化 `solve_by_dfs()` 函数的时间复杂度, 寻找可以生成有唯一解的数独游戏和求解数独游戏的更优算法。

## 三、单元测试

在实验中共计设置了38个测试样例, 包括:

- 各参数以及文件内容合法的测试样例，如生成数独终局、生成不同难度数独问题、求解数独问题等。
- 各参数以及文件内容非法的测试样例，如参数搭配错误、参数取值错误，文件格式错误等。

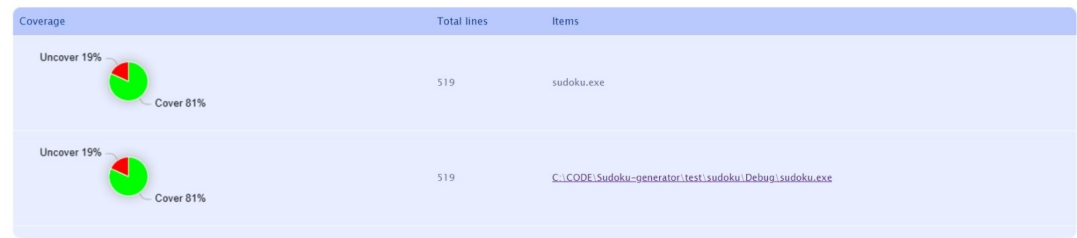
全部样例可查看 [.test](#) 目录下的 `unit_test.txt` 文件），它们全部通过测试，限于篇幅这里列出部分测试样例及测试结果：

编号	参数	预期反馈	实际反馈	是否通过
1	-c 50	生成50个数独终局	生成50个数独终局	通过
2	-n 50 -m 3	生成50个难度为3的数独游戏	生成50个难度为3的数独游戏	通过
3	-n 50 -m 3 -r 25~50	生成50个难度为3的数独游戏	生成50个难度为3的数独游戏	通过
4	-n 50 -m 3 -u	生成50个难度为3且解唯一的数独游戏	生成50个难度为3且解唯一的数独游戏	通过
5	-s .\board_1.txt	给出.\board_1.txt中的数独游戏的解答	给出.\board_1.txt中的数独游戏的解答	通过
6	-t a	报错并退出	报错并退出	通过
7	-c 1000001	报错并退出	报错并退出	通过
8	-n 50 -m 4	报错并退出	报错并退出	通过
9	-n 50 -r 25	报错并退出	报错并退出	通过
10	-s .\bad_board_1.txt	报错并退出	报错并退出	通过

单元测试的覆盖率使用 `openCppCoverage`（Windows平台下开源的C++代码覆盖率工具）检查，检查结果如下，最终的代码覆盖率为81%：

**sudoku.exe**

Warning: Your program has exited with error code: -1



查看具体每个代码文件的覆盖率：

Coverage	Total lines	Items
 Uncover 19% Cover 81%	519	C:\CODE\Sudoku-generator\test\sudoku\Debug\sudoku.exe
 Uncover 63% Cover 37%	140	C:\CODE\Sudoku-generator\test\sudoku\src\getopt.cc
 Uncover 3% Cover 97%	176	C:\CODE\Sudoku-generator\test\sudoku\src\sudoku.cc
 Uncover 3% Cover 97%	74	C:\CODE\Sudoku-generator\test\sudoku\src\sudoku_board.cc
 Uncover 2% Cover 98%	116	C:\CODE\Sudoku-generator\test\sudoku\src\command.cc
 Uncover 0% Cover 100%	5	C:\CODE\Sudoku-generator\test\sudoku\include\sudoku.h
 Uncover 0% Cover 100%	8	C:\CODE\Sudoku-generator\test\sudoku\src\main.cc

可以看出未覆盖的代码中绝大部分都是命令行参数处理中使用的开源项目 [win-c](#) 的代码文件，而后续编写的代码文件中未覆盖的代码只有“文件打开失败”报错、部分 `if-else` 分支中的 `else`（不是 `else` 分支的具体代码，单就 `else` 这一行代码，可能是软件存在部分bug）。

## 四、用户手册——数独生成及求解器用户手册

### 1 引言

#### 1.1 编写目的

该手册是为了方便用户更好地了解和使用数独生成及求解器 `sudoku.exe`，阐明如何使用（包括从源代码构建可执行程序 and 直接使用可执行程序）[数独生成及求解器](#)，向用户解释该程序的作用或在必要时作为参考。

预期的读者为数独生成及求解器用户及数独生成及求解器的开发测试人员。

#### 1.2 背景

- 开发软件名称：数独生成及求解器
- 软件任务提出者：软件工程课程作业
- 软件开发者：1913632-曾兀及1910842-苗泽昀
- 产品用户：数独生成及求解器用户及该软件的任务提出者、开发者。

### 2 用途

该数独生成及求解器 `sudoku.exe` 的功能包括：

- 生成数独终局并保存：用户可以使用该程序生成数独终局并保存到当前目录下的 `endgame.txt` 文本文件中，生成的终局盘数可选择。
- 生成数独游戏并保存：用户可以使用该程序生成数独游戏并保存到当前目录下的 `game.txt` 文本文件中，生成的游戏盘数、游戏难度、挖空数量和是否解唯一都可选择。
- 解答数独游戏：用户可以使用该程序从指定文件中读取指定格式的数独游戏文件，并给出正确的解答，找到所有的解法，最后通过命令行形式以及文件形式输出解答。其中每一个数独游戏的解都会以一个单独的文件输出，即每个输出文件包括输入文件中一个数独游戏的所有解。

### 3 运行环境

平台：64-bit Windows 10 及以上

如果用户选择自己从源代码进行编译得到可执行文件，那么还需要安装 `gcc/g++` 编译器（gcc version 8.1.0 及以上）来进行源代码的编译。

### 4 使用说明

如果用户选择直接使用已经编译好的数独生成及求解器可执行程序 `sudoku.exe`，那么直接按照下文中的参数说明表格，在 powershell 或 cmd 等 Windows 命令行环境下直接执行该可执行文件即可。

如果用户选择自己从源代码编译，那么还需要按照运行环境中对编译器的要求安装对应版本的 `gcc` 编译器，并按照下属源代码编译的步骤编译数独生成及求解器可执行程序 `sudoku.exe`，再在 powershell 或 cmd 等 Windows 命令行环境下直接执行该可执行文件。

#### 源代码编译

通过[项目Github仓库](#)下载项目源代码后，进入项目文件夹，执行

```
g++ -I .\include .\src\*.cc -o .\bin\sudoku.exe -fexec-charset=GBK
```

命令，即可在 `.\bin` 下得到 `sudoku.exe` 可执行文件。

#### 选项及参数说明表格

选项及参数	意义	使用限制	用法示例*
<code>-c N</code>	生成 <code>N</code> 个数独终盘	参数 <code>N</code> 的范围为： 1~1000000	<code>sudoku.exe -c 20</code> [表示生成20个数独终盘]
<code>-s PATH</code>	从路径 <code>PATH</code> 读取需要求解的数独游戏**	参数 <code>PATH</code> 为绝对路径或相对路径	<code>sudoku.exe -s game.txt</code> [表示从game.txt读取若干个数独游戏，并给出其解答]
<code>-n N</code>	生成 <code>N</code> 个数独游戏	参数 <code>N</code> 的范围为： 1~10000	<code>sudoku.exe -n 1000</code> [表示生成1000个数独游戏]

选项及参数	意义	使用限制	用法示例*
<code>-m</code> <code>LEVEL</code>	生成的数独游戏难度为 <code>LEVEL</code>	<code>-n</code> 选项是使用该选项的前提 参数 <code>LEVEL</code> 的范围为：1~3，数字越大难度越大	<code>sudoku.exe -n 1000 -m 1</code> [表示生成1000个简单数独游戏]
<code>-r</code> <code>MIN~MAX</code>	生成的数独游戏中空格数量范围为 <code>MIN</code> 到 <code>MAX</code>	<code>-n</code> 选项是使用该选项的前提 当同时出现 <code>-r</code> 选项和 <code>-m</code> 选项时，以 <code>-m</code> 选项为准 参数 <code>MIN</code> 和 <code>MAX</code> 的范围为：20~55	<code>sudoku.exe -n 20 -r 20~55</code> [表示生成20个挖空数在20到55之间的数独游戏]
<code>-u</code>	生成的数独游戏解唯一	<code>-n</code> 选项是使用该选项的前提	<code>sudoku.exe -n 20 -u</code> [表示生成20个解唯一的数独游戏]

**\*注：**用法示例中的命令均是在 `sudoku.exe` 所在目录下执行的。

**\*\*注：**对于需要求解的数独游戏文件，文件中每个数独游戏满足如下格式：

- 一个数独游戏包括 10 行，前 9 行为数独游戏内容行，最后一行为分隔行。
- 数独游戏内容行每行最多128个字符，其中包括 9 个有效字符，它们可以是：
  - 数字 `1 ~ 9`
  - `$`（表示需要进行求解填充的空格）

每两个有效字符之间可以由若干个空格分隔。

- 分隔行至少包含一个 `-`，并且以 `-` 开始。其后可跟随任意注释，不影响读取数独游戏。
- 空行将被忽略。

示例文件：

```
$ $ $ 3 6 $ 4 $ $
$ 2 3 $ 9 $ 7 8 5
$ $ 4 7 8 5 $ $ 2
$ 7 8 $ $ 6 $ 4 $
2 $ $ $ 4 $ 5 $ $
1 $ 9 5 7 8 $ 3 $
$ 8 $ 6 2 3 $ 1 4
$ 6 2 9 $ $ $ $ 7
4 $ $ 8 $ $ $ $ 3
-----board[1]
7 $ $ $ $ $ 6 8 9
$ $ $ $ $ $ 7 $ $
$ $ 9 2 $ 1 $ 5 $
$ 2 $ $ 4 $ $ $ 6
$ $ 3 $ 9 6 1 $ 7
8 $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ 3 $ $ $ $ $
```

```
4 $ 5 $ $ 9 $ $ 1
9 $ $ 7 $ $ $ 3 5
-----board[2]
```