

# Решатель sudoku по изображению с камеры

А. А. Муравцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Высшая школа теоретической механики  
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

6 мая 2022 г.

# Структура проекта

## Распознавание и обработка sudoku на изображении

- Цветное в чёрно-белое

- Определение местоположения поля sudoku на кадре

- Разделение на ячейки

- Распознавание цифр в ячейках с помощью обученной нейронной сети

## Решатель sudoku

- Рекурсивный перебор

- Постановка задачи о точном покрытии

- Алгоритм Х и его реализация с помощью метода танцующих ссылок

## Графическое приложение на PyQt

# Структура проекта

sudoku

```
.
|__frontend
|  |__sudoku_app.py (запуск графического приложения)
|__lib
|  |__image_preprocess.py
|  |__sudoku_detection.py
|  |__sudoku_solver.py (р-ль на основе рекурсивного перебора)
|  |__solver_algorithm_x.py (решатель на основе алгоритма X)
|__ml_model
|  |__dataset (датасет с изображениями напечатанных цифр)
|  |__ml_train.py (код обучения нейросети на основе dataset)
|  |__printed_digit_recognition_net.h5 (обученная нейросеть)
|__tests
|  |__sudoku_pytest.py (тесты)
|__main.py (основной файл с выводом результатов в консоль)
|__exploration.py (для исследования идей)
```

## Преобразование в чёрно-белое изображение

(1) В оттенках серого

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

## (2) Размытие по Гауссу

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

(3) Бинарное изображение  
(только чёрный и белый)

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

(4) Инвертированное чёрно-белое изображение

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

(5) Удалён шум

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

(6) Увеличено количество белого

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

# Распознавание поля sudoku

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

# Разделение на ячейки

# Нейросеть Keras

# Рекурсивный перебор



# Задача о точном покрытии

Дано множество  $X$  и другое множество  $S$ , каждый элемент которого есть подмножество множества  $X$ . Требуется найти такое подмножество  $S^*$  множества  $S$ , чтобы каждый элемент из  $X$  был ровно в одном элементе выбранного подмножества.

Пример.

Пусть  $X = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ .

Пусть  $S = \{A, B, C, D, E\}$ , где  $A = \{0, 1, 4, 6\}$ ,  $B = \{2, 3, 5\}$ ,

$C = \{0, 4, 8\}$ ,  $D = \{0, 3, 3, 4, 5, 7, 8\}$ ,  $E = \{1, 6, 7\}$ .

Тогда  $S^* = \{B, C, E\}$  удовлетворяет поставленным условиям.

## Удобное представление данных задачи о точном покрытии

$$X = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$$

$$S = \{A, B, C, D, E\}, \text{ где } A = \{0, 1, 4, 6\}, B = \{2, 3, 5\}, \\ C = \{0, 4, 8\}, D = \{0, 2, 3, 4, 5, 7, 8\}, E = \{2, 6, 7\}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	1	0	0	1	0	1	0	0
B	0	0	1	1	0	1	0	0	0
C	1	0	0	0	1	0	0	0	1
D	1	0	1	1	1	1	0	1	1
E	0	1	0	0	0	0	1	1	0

## Судoku в терминах задачи о точном покрытии

	Есть ли цифра в ячейке				Есть ли в строке с данным номером определённая цифра						Есть ли в столбце с данным номером определённая цифра						Есть ли в квадрате с данным номером определённая цифра					
	Ячейка №0	Ячейка №1	...	Ячейка №80	В строке №0 цифра 1	В строке №0 цифра 2	...	В строке №1 цифра 1	...	В строке №8 цифра 9	В столбце №0 цифра 1	В столбце №0 цифра 2	...	В столбце №1 цифра 1	...	В столбце №8 цифра 9	В квадрат-е №0 цифра 1	В квадрат-е №0 цифра 2	...	В квадрат-е №1 цифра 1	...	В квадрат-е №8 цифра 9
В строке 0 в столбце 0 ставлю цифру 1	1	0	...	0	1	0	...	0	...	0	1	0	...	0	...	0	1	0	...	0	...	0
В строке 0 в столбце 0 ставлю цифру 2	1	0	...	0	0	1	...	0	...	0	0	1	...	0	...	0	0	1	...	0	...	0
- - -	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
В строке 0 в столбце 1 ставлю цифру 1	0	1	...	0	1	0	...	0	...	0	0	0	...	1	...	0	1	0	...	0	...	0
В строке 0 в столбце 1 ставлю цифру 2	0	1	...	0	0	1	...	0	...	0	0	0	...	0	...	0	0	1	...	0	...	0
- - -	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
В строке 1 в столбце 0 ставлю цифру 1	0	0	...	0	0	0	...	1	...	0	1	0	...	0	...	0	1	0	...	1	...	0
В строке 1 в столбце 0 ставлю цифру 2	0	0	...	0	0	0	...	0	...	0	0	1	...	0	...	0	0	1	...	0	...	0
- - -	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
В строке 8 в столбце 8 ставлю цифру 9	0	0	...	1	0	0	...	0	...	1	0	0	...	0	...	1	0	0	...	0	...	1

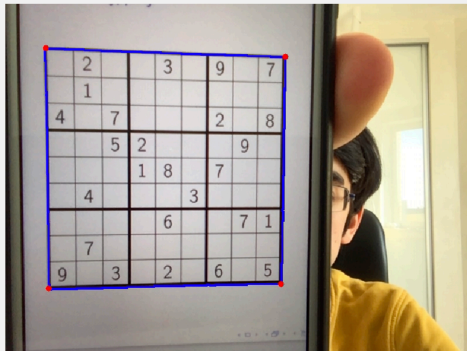
# Алгоритм X

# Интерфейс GUI-приложения

Sudoku Solver



Camera image



Current scanned solvable sudoku field

```
[[0. 2. 0. 0. 3. 0. 9. 0. 7.]  
[0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]  
[4. 0. 7. 0. 0. 0. 2. 0. 8.]  
[0. 0. 5. 2. 0. 0. 0. 9. 0.]  
[0. 0. 0. 1. 8. 0. 7. 0. 0.]  
[0. 4. 0. 0. 0. 3. 0. 0. 0.]  
[0. 0. 0. 0. 6. 0. 0. 7. 1.]  
[0. 7. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]  
[9. 0. 3. 0. 2. 0. 6. 0. 5.]]
```

Run Sudoku Solver

Select image with sudoku field manually

Слот преобразования openCV изображения в PyQt изображение:

```
@pyqtSlot(np.ndarray)
def update_image(self, cv_img):
    """Updates the image_label with a new openCV image"""
    qt_img = self.convert_cv_to_qt(cv_img)
    self.frame_field.setPixmap(qt_img)
```

Слот обновления текста внутри QTextEdit:

```
@pyqtSlot(np.ndarray)
def update_text(self, sudoku_to_solve):
    """Updates the image_label with a new openCV image"""
    self.scanned_sudoku.setText(np.array2string(sudoku_to_solve))
```

# Поток с результатом

```
class ThreadWithResult(threading.Thread):  
    def __init__(self, group=None, target=None, name=None,  
                 args=(), kwargs={}, *, daemon=None):  
        self.result = None  
  
    def function():  
        self.result = target(*args, **kwargs)  
    super().__init__(group=group, target=function,  
                     name=name, daemon=daemon)
```