



Факультет социально-экономических и
компьютерных наук

Программная
инженерия, ПИ-20-1

Пермь, 2024

Разработка приложения для оцифровки сигналов ЭКГ

Лукин Семен Олегович

Заведующий Центром когнитивных нейронаук Куликова Софья Петровна



Предпосылки

Прикладные модели ИИ всё чаще используется в медицине

ФГБУ «НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева» - задача классификации типов ритма и проводимости сердца на основании данных ЭКГ

150 форм документов – 81 в цифровом виде – 35 передаётся (22%)

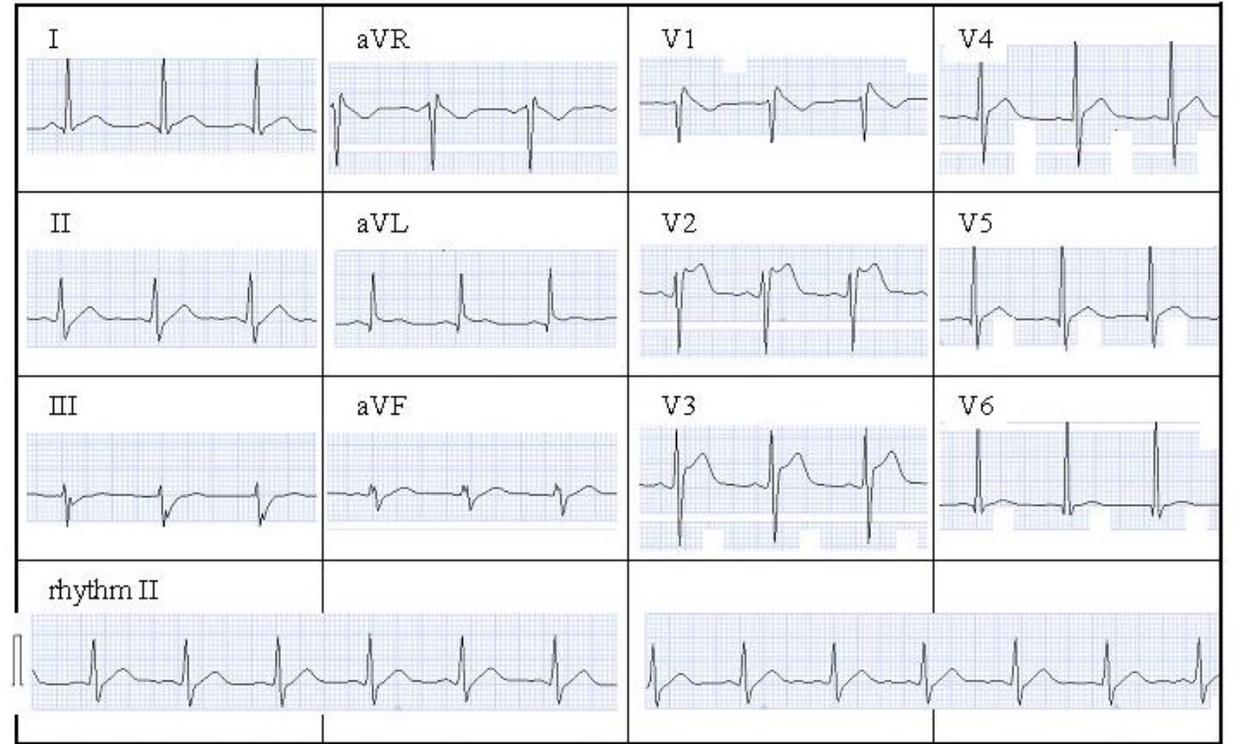
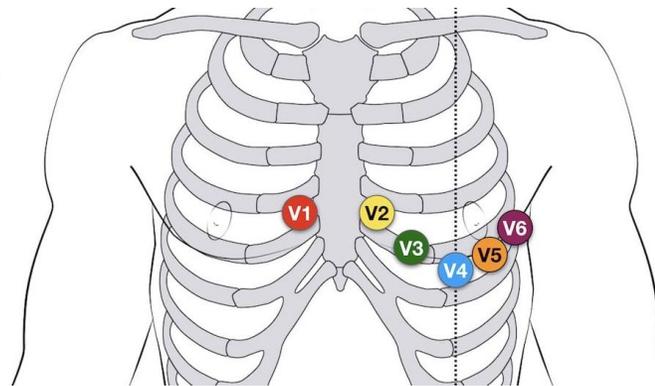
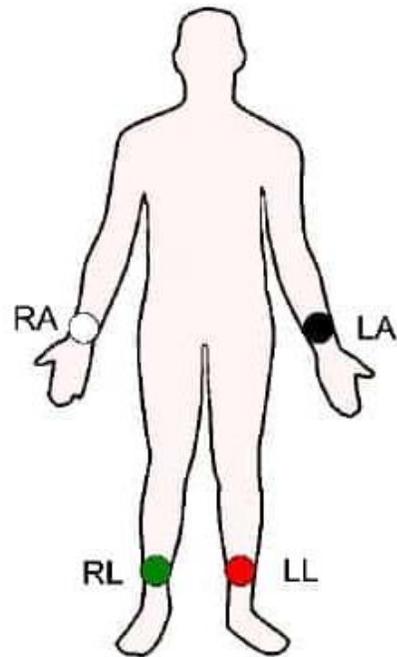
Степень возможности алгоритмизации порядка оказания медицинской помощи по направлению «Сердечно-сосудистые заболевания» составляет 11,1%.



Структура ЭКГ

Стандартные отведения:

- I, II, III;
- aVL, aVR, aVF;
- V1, V2, V3, V4, V5, V6.



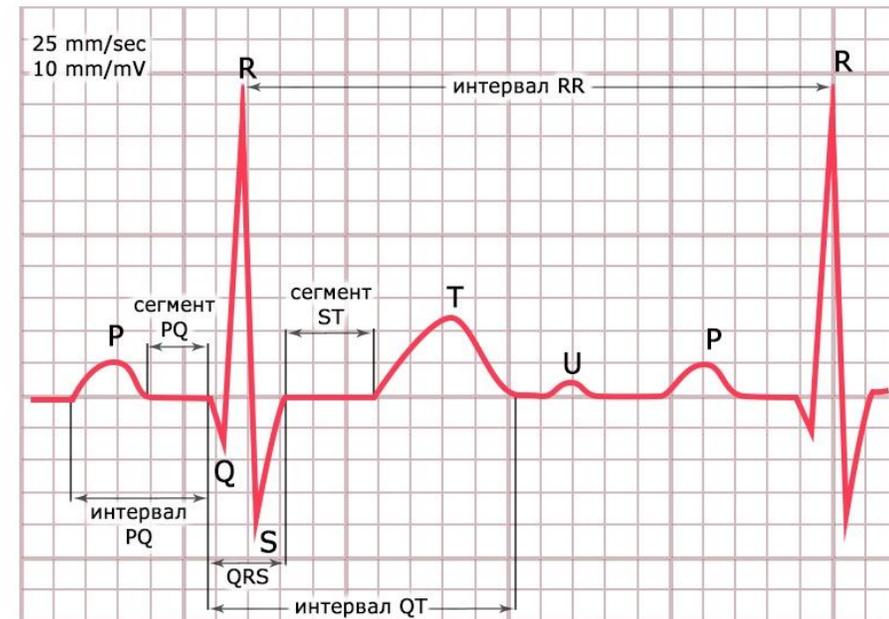


Характеристика каждого из отведений

Зубцы: P, Q, R, S, T, U

Сегменты: PQ, ST, TP

Интервалы: PQ, QT, RR

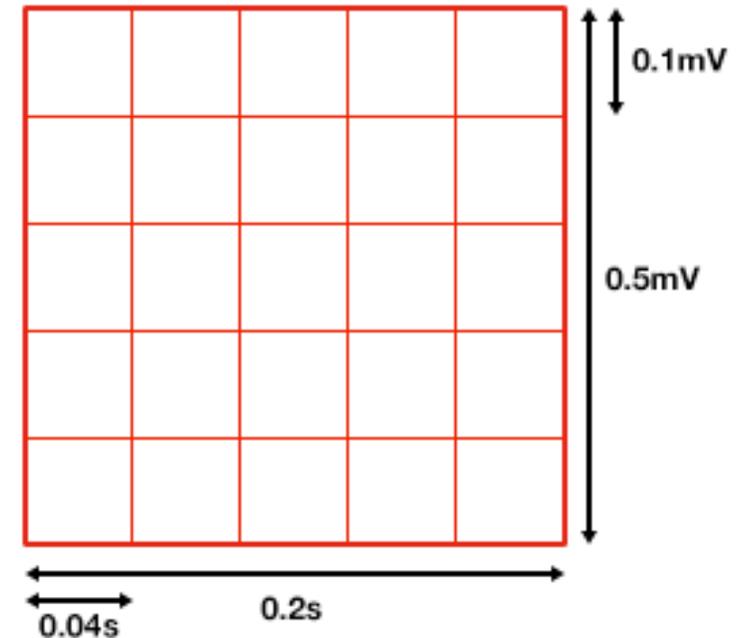




Нормативные акты

ГОСТ 7826-93 «Ленты и диски
диаграммные регистрирующих
приборов»

ТУ 17.12.14-004-22261422-2017 «Ленты
диаграммные рулонные и
складывающиеся для медицинских
регистрирующих приборов»



$25 \text{ мм/с} = \text{на } 1 \text{ мм приходится } 0,04 \text{ с}$

$10 \text{ мм/мВ} = \text{на } 1 \text{ мм приходится } 0.1 \text{ мВ}$



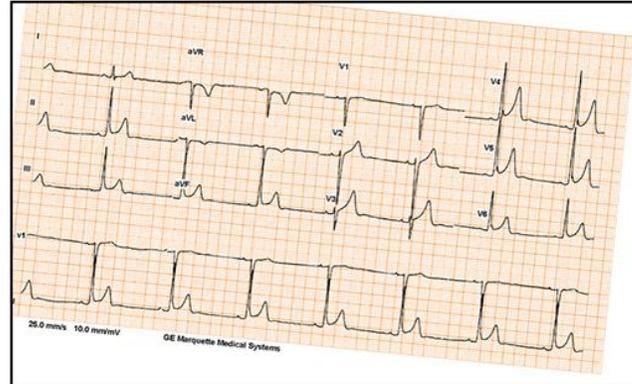
Automatic digitization of paper electrocardiograms – A systematic review (2023)

- Сравнение исследований по различным критериям: методология, производительность и доступность
- 32 работы с 1991 по 2022.

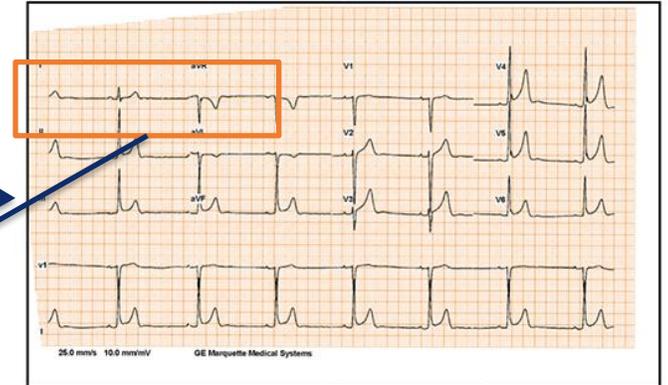


Пайплайн

1. Коррекция перекоса
Manually or
Hough/Radon Transform



2. Локализация отведений
Manually or
with ML/DL methods



3. Бинаризация
Saulova – noisy images
Otsu – low noise images



4. Извлечение сигнала

```
-0.0,-0.0,75.000000000000081,-0.0,nan,100.000000000000108,-100.000000000000108,50.000000000000054,75.000000000000081,275.000000000000296,75.000000000000081,-0.0,75.000000000000081,-0.0,-75.000000000000081,100.000000000000108,-75.000000000000081,25.000000000000027,100.000000000000108,200.000000000000027,75.000000000000081,-0.0,-100.000000000000108,112.500000000000122,-75.000000000000081,25.000000000000027,75.000000000000081,-0.0,-25.000000000000027,75.000000000000081,-0.0,-100.000000000000108,125.000000000000135,-75.000000000000081,25.000000000000027,62.500000000000062,75.000000000000081,-0.0,-100.000000000000108,125.000000000000135,-50.000000000000054,25.000000000000027,50.000000000000027,50.000000000000027
```

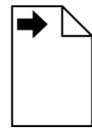


Проблемы в задаче оцифровки ЭКГ

- нет общей метрики для оценки качества;
- нет бенчмарков;
- авторы не измеряют качество оцифровки;
- нет открытого исходного кода или ПО;
- каждая статья хранит оцифрованное ЭКГ в различном формате.

PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset

- 21799 файлов ЭКГ, 12 отведений в каждом длительностью 10 секунд
- Формат WFDB
- Можно использовать как бенчмарк!



wfdb header



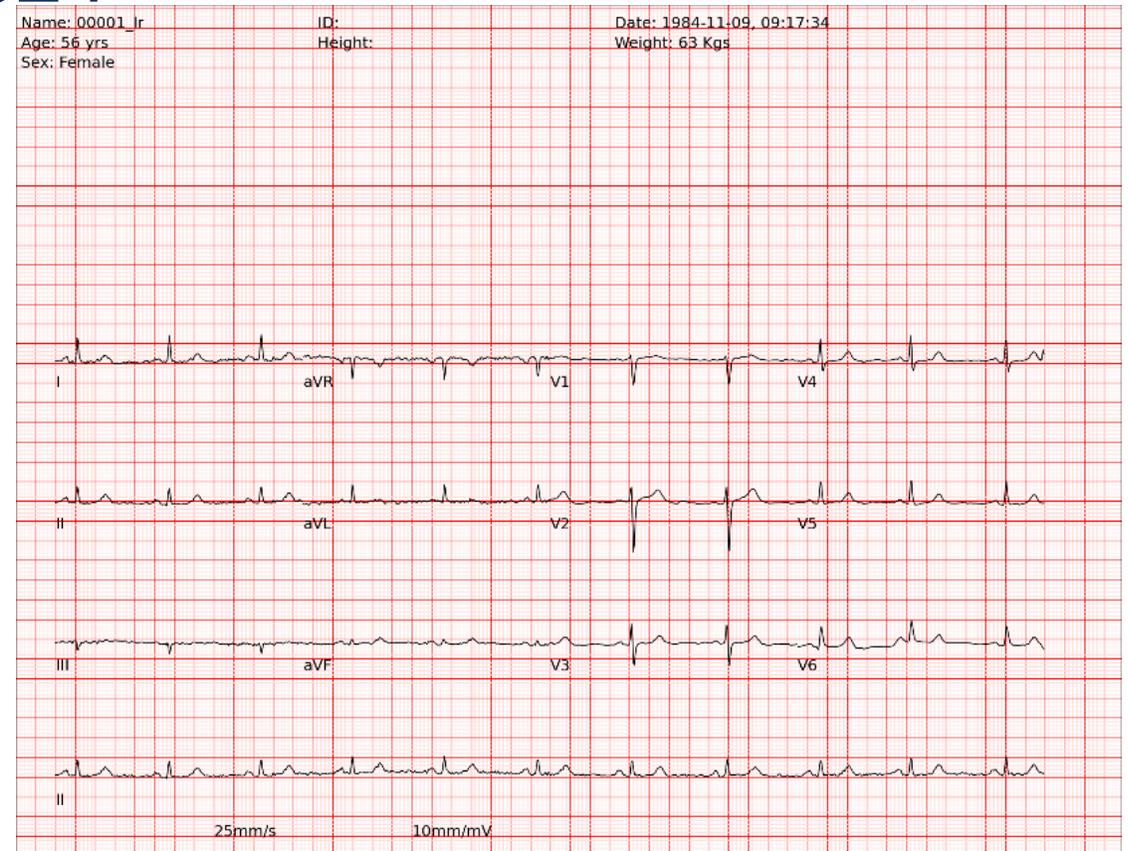
wfdb signal

```
00001_lr 12 100 1000
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -119 1508 0 I
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -55 723 0 II
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 64 64758 0 III
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 86 64423 0 AVR
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -91 1211 0 AVL
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 4 7 0 AVF
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -69 63827 0 V1
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -31 6999 0 V2
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 0 63759 0 V3
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -26 61447 0 V4
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -39 64979 0 V5
00001_lr.dat 16 1000.0(0)/mV 16 0 -79 832 0 V6
```

Digitization and Classification of ECG Images: The George B. Moody PhysioNet Challenge 2024

- Задача оцифровки и классификации ЭКГ
- Генерация синтетических данных на основе РТВ-XL
- Для оценки качества используется метрика signal-to-noise

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{digitized}} - P_{\text{signal}}} \right)$$





Аналогичные системы

```
~/ecg/avaible code/unet/src ./ecg.sh
Traceback (most recent call last):
  File "/home/semyon/ecg/avaible code/unet/src/ecg_predict.py", line 125, in <module>
    main(args)
  File "/home/semyon/ecg/avaible code/unet/src/ecg_predict.py", line 76, in main
    predictor = ECGPredictor('resunet10', model_path, 128, args.cbam)
  File "/home/semyon/ecg/avaible code/unet/src/ecg_predict.py", line 18, in __init__
    self.model.load_state_dict(ll)
  File "/home/semyon/ecg/ecg_env/lib/python3.10/site-packages/torch/nn/modules/module.py",
    raise RuntimeError('Error(s) in loading state_dict for {}: \n\t{}'.format(
RuntimeError: Error(s) in loading state_dict for BasicResUNet:
  size mismatch for input.0.convn.weight: copying a param with shape torch.Size([16,
ize([64, 1, 7, 7])).
  size mismatch for input.1.weight: copying a param with shape torch.Size([16]) from
  size mismatch for input.1.bias: copying a param with shape torch.Size([16]) from ch
```

Li Y. et al. Deep learning for digitizing highly noisy paper-based ECG records

```
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
values = pd.read_excel('ImageData.xlsx')
y = pd.read_excel('Threshold_values.xlsx')

image = cv2.imread('image4.jpg')
scale_percent = 20
```

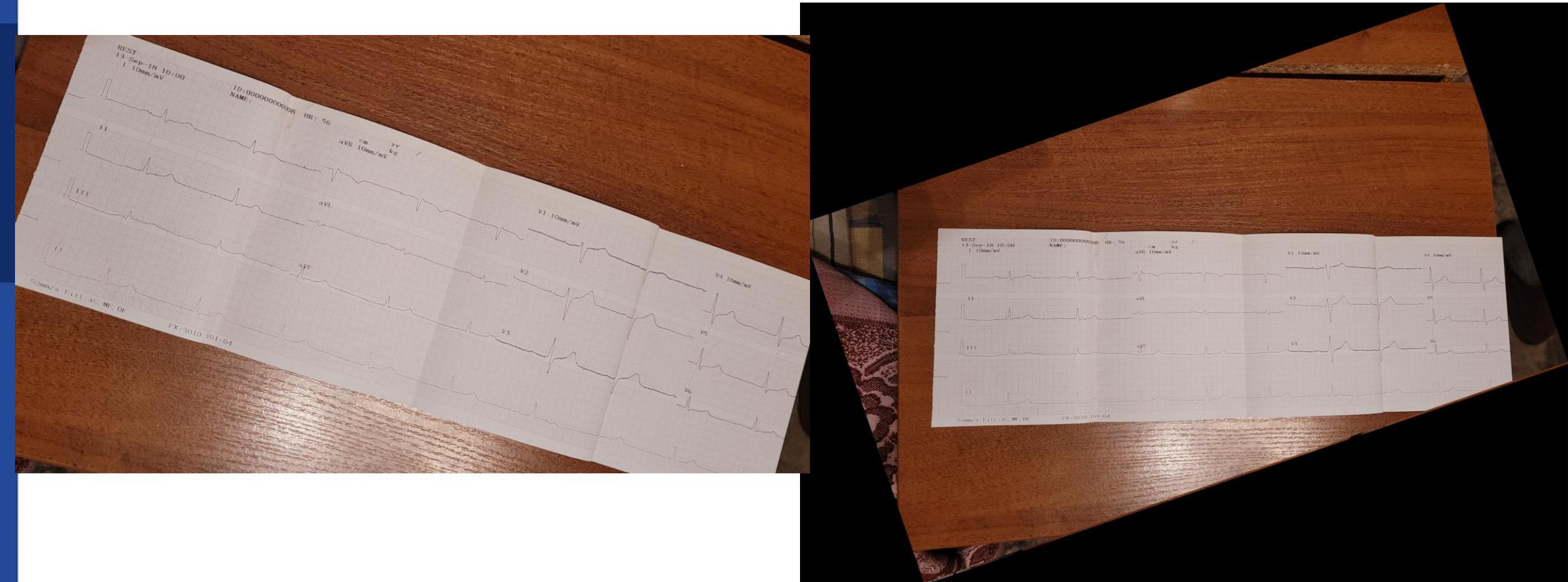
Importing required files

Reading and resizing the image

Mishra S. et al. Paper Record Digitization and Diagnosis Using Deep Learning



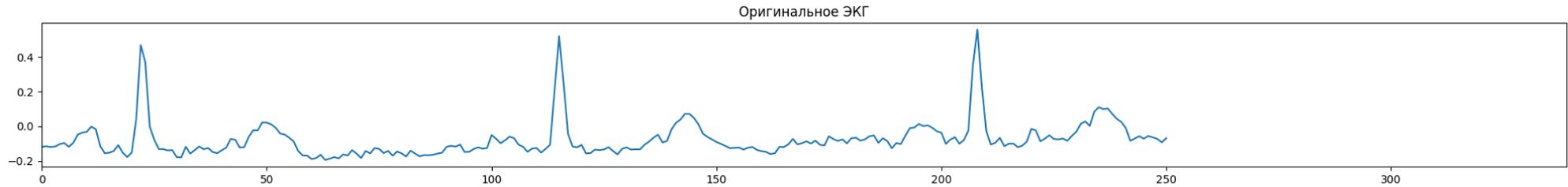
Автоматическая коррекция перекоса



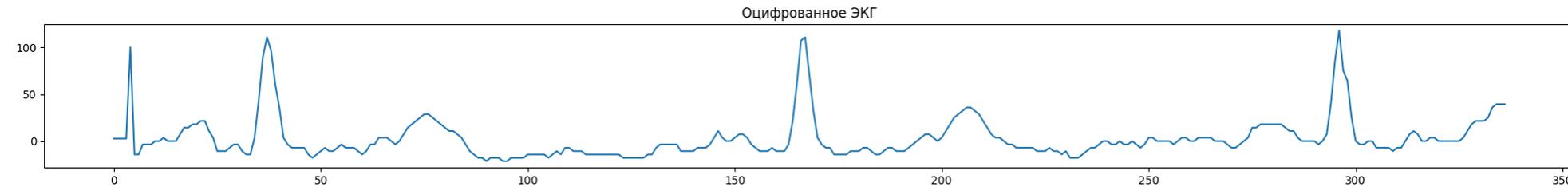


Эксперименты по коррекции перекоса

Было:
корреляция -0.2



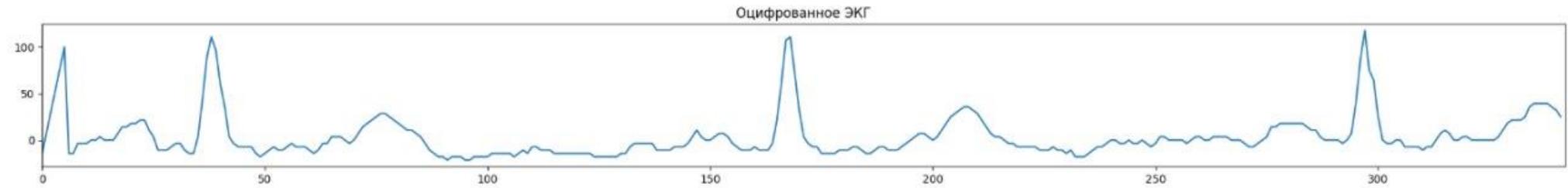
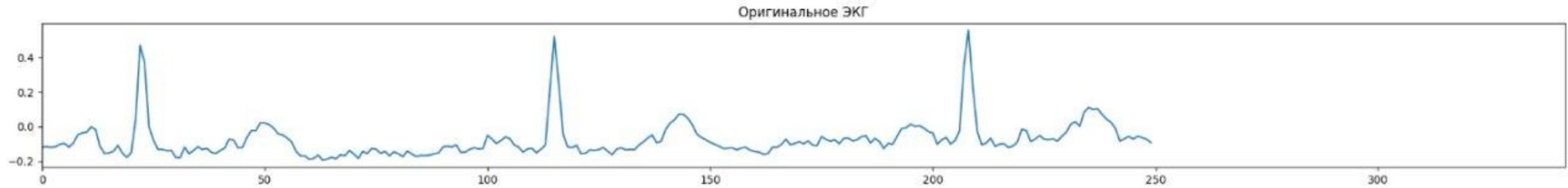
Стало:
корреляция 0.3



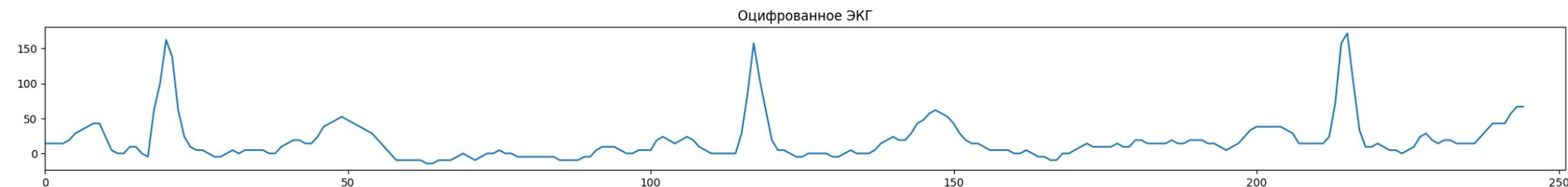
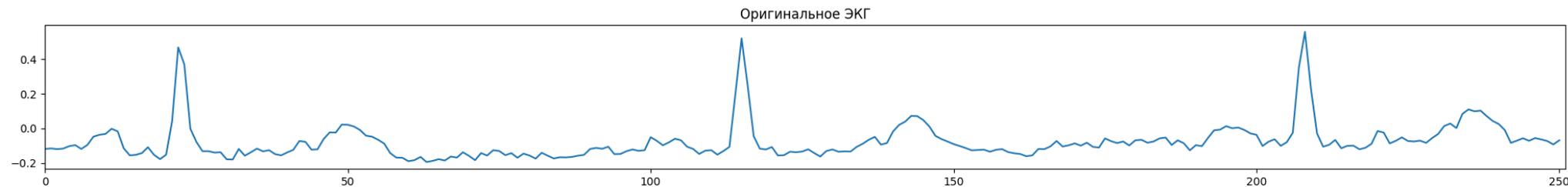


Доработка библиотеки по оцифровке

Было:
корреляция 0,15



Стало:
корреляция 0,4





Аналогичные системы

Критерий	Fortune и соавторы [10]	Wu и соавторы [11]	Ganesh и соавторы [12]
Коррекция перекоса	Установление угла пользователем	Преобразование Хафа	Преобразование Хафа
Бинаризация	Метод Оцу	Пороговое значение 0.94	Автоматический поиск порога
Выделение сигнала	Алгоритм Витерби	Сохранение координат пикселей	Сохранение координат пикселей с усреднением, если есть несколько значений
Метрики	Корреляция Пирсона и RMSE ко всему сигналу	Корреляция Пирсона и RMSE ко всему сигналу	Корреляция для интервалов RR, PR, QRS, QT.
Язык реализации	Python	Псевдокод	Matlab



Аналогичные системы

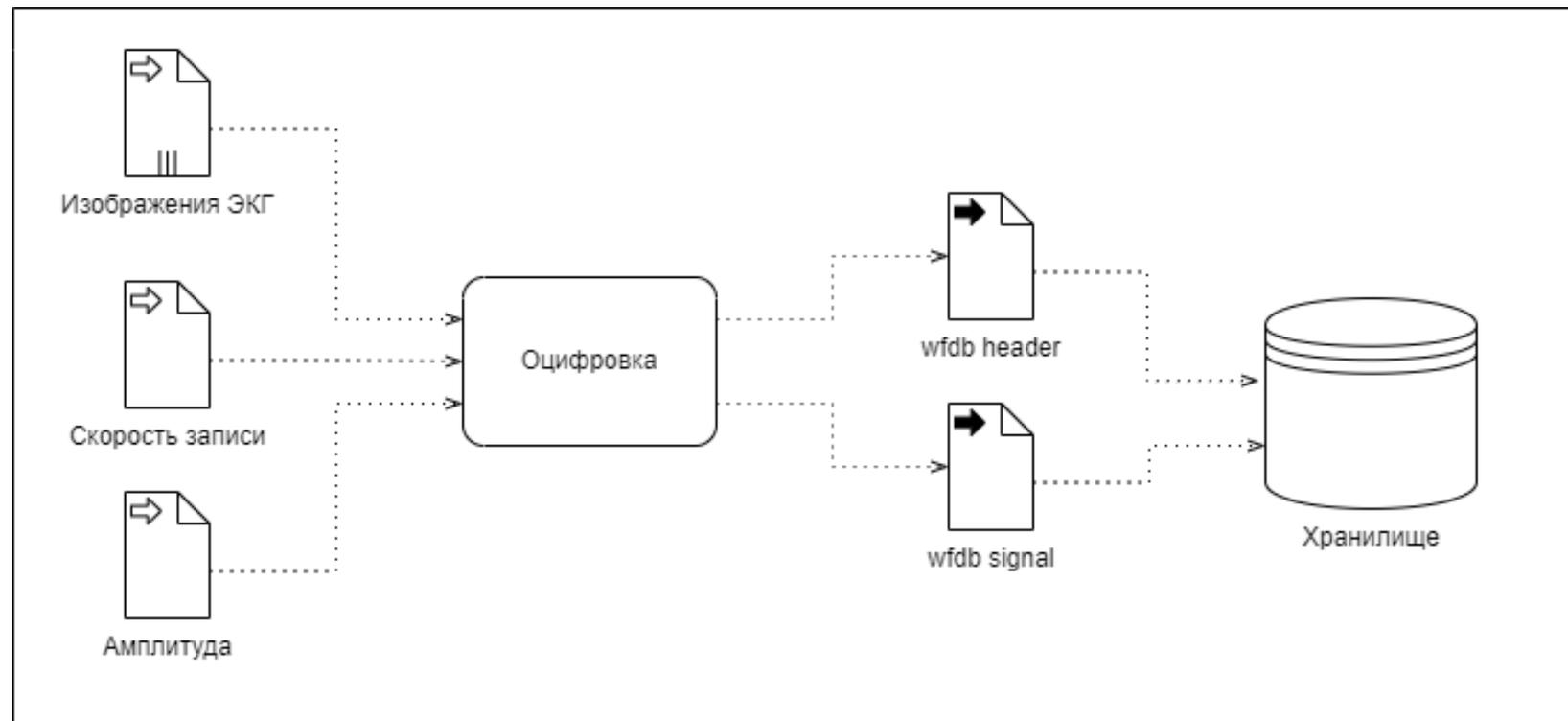
Критерий	Fortune и соавторы [10]	Wu и соавторы [11]	Ganesh и соавторы [12]
Коррекция перекоса	Ручная	Автоматически	Автоматически
Определение положения отведений	Ручная разметка	Автоматически	Ручная разметка
Возможность корректировки положения отведений	Да	Нет	Да
Формат оцифрованной ЭКГ	xlsx	Нельзя выгрузить	jpg
Возможность загрузить несколько фото	Нет	Нет	Нет



Требования

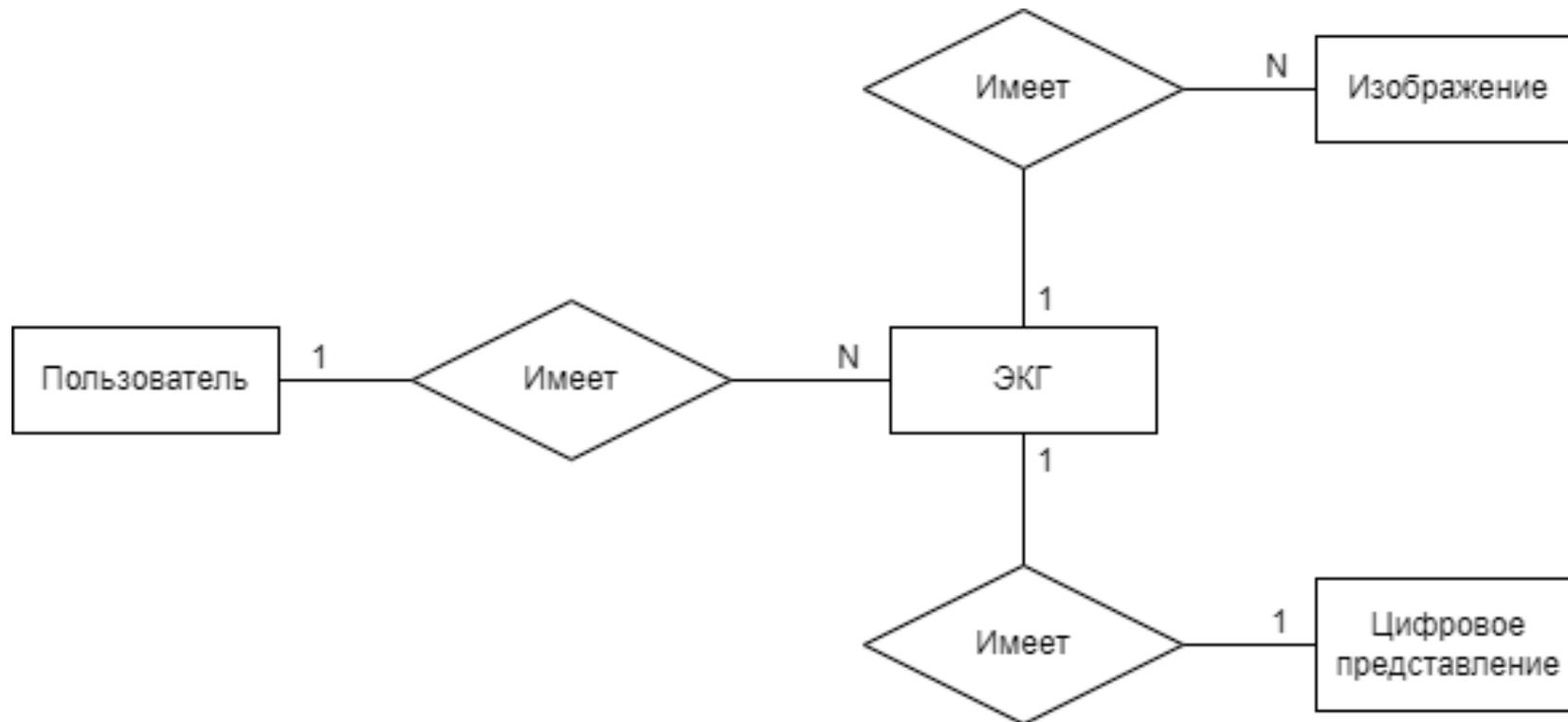
- Полуавтоматический режим оцифровки
- Загрузка нескольких фотографий
- Хранение в формате WFDB
- Возможность модификации

Потоки данных



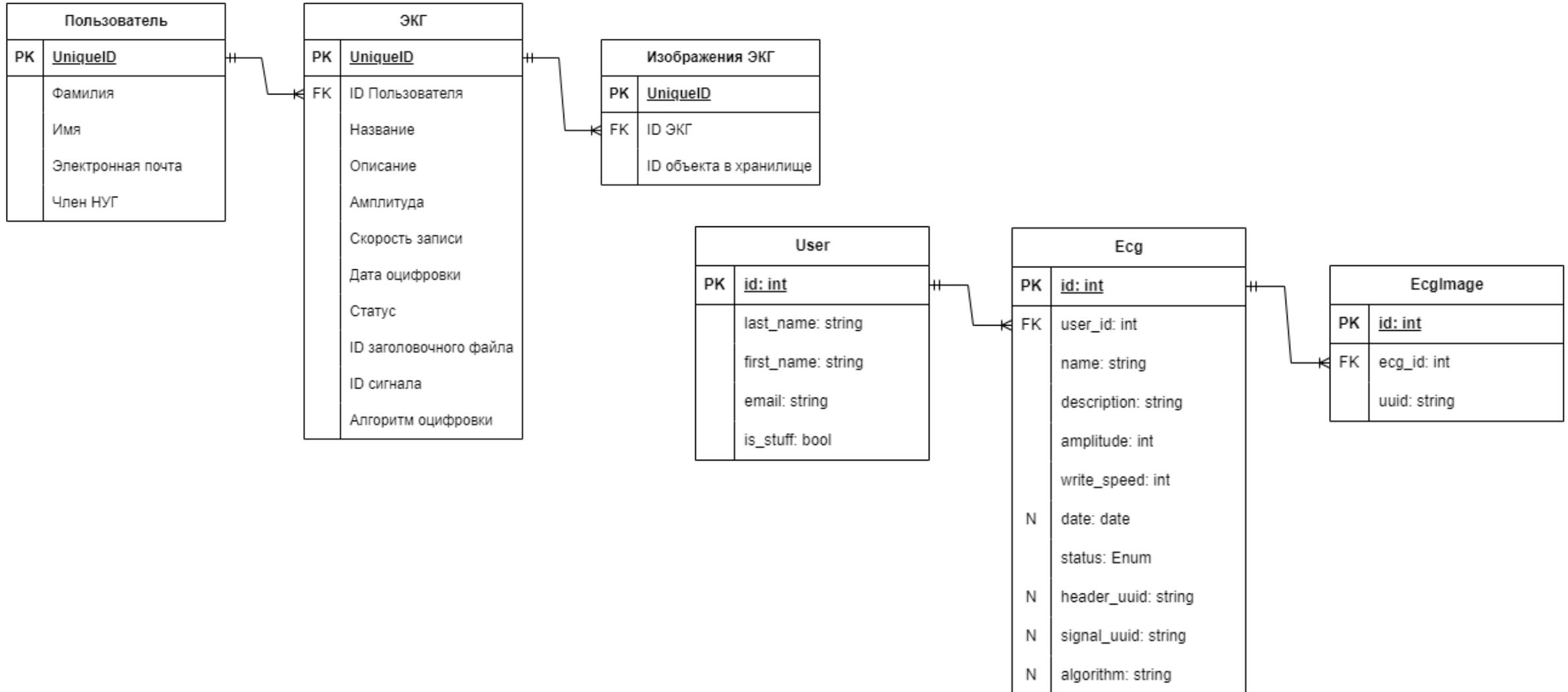


Концептуальная схема БД

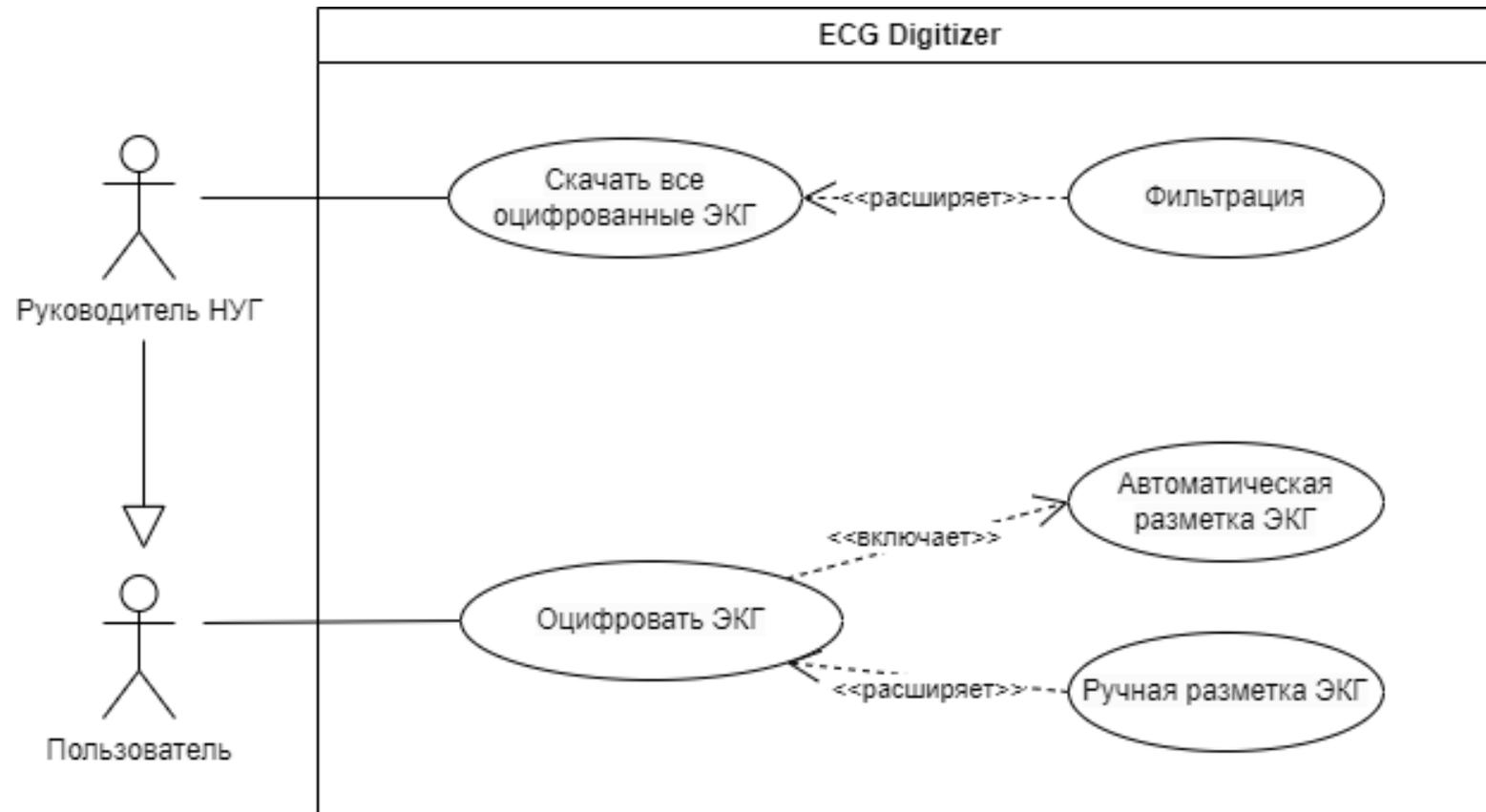




Логическая и физическая схема БД



Варианты использования





Сценарии ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Прецедент UC-1.
Оцифровать ЭКГ

Идентификатор и название	UC-1. Оцифровать ЭКГ	
Актеры	Пользователь	
Описание	Пошаговое описание процесса оцифровки ЭКГ	
Триггер	Пользователь намерен оцифровать ЭКГ	
Предварительные условия	У пользователя есть изображения ЭКГ	
Выходные условия	Создается новый объект с оцифрованной ЭКГ	
Основной поток		
	Действия акторов	Отклик системы
	1. Пользователь загружает изображения ЭКГ.	2. Система корректирует перекося изображения.
		3. Система проводит разметку ЭКГ для определения положения отведений.
	4. Пользователь подтверждает разметку и указывает параметры ЭКГ: скорость записи и амплитуда. Пользователь может изменить разметку, если она не соответствует реальному положению отведений, выполняется альтернативный поток E1.	5. Система оцифровывает изображение ЭКГ.
Альтернативный поток		
E1. Ручная разметка ЭКГ. Пользователь вручную корректирует положение отведений.		



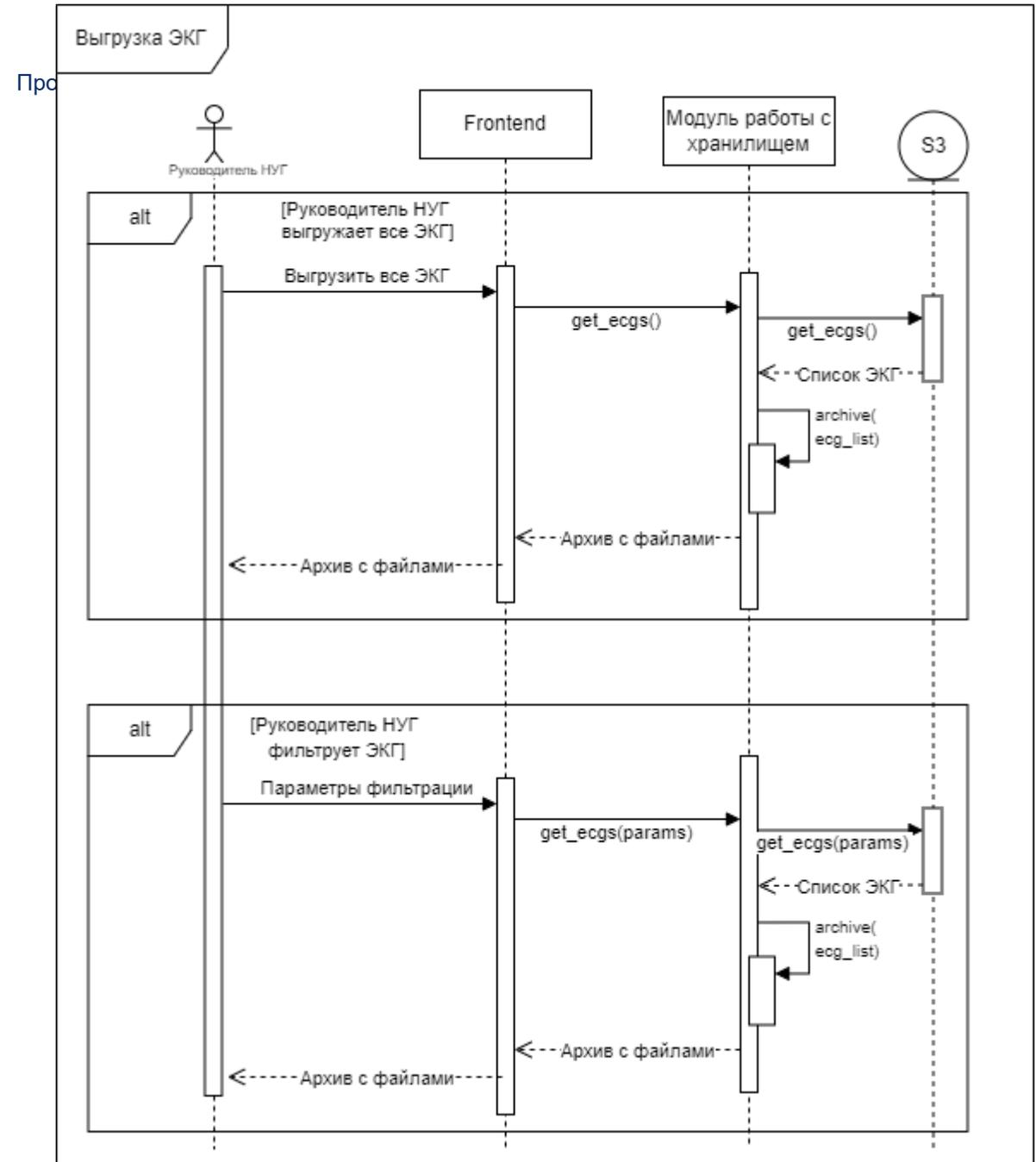
Сценарии использования

Прецедент UC-2. Выгрузить
оцифрованные ЭКГ

Идентификатор и название	UC-2. Выгрузить оцифрованные ЭКГ	
Акторы	Руководитель НУГ	
Описание	Позволяет выгрузить все оцифрованные ЭКГ из системы	
Триггер	Руководитель НУГ выгрузить ЭКГ	
Предварительные условия	В системе содержится как минимум одна оцифрованная ЭКГ.	
Выходные условия	Архив со всеми оцифрованными ЭКГ.	
Основной поток		
	Действия акторов	Отклик системы
	1. Руководитель НУГ выгружает все ЭКГ. (E1)	2. Система создаёт архив со всеми файлами.
Альтернативный поток		
E1. Фильтрация. Руководитель НУГ может отфильтровать ЭКГ по дате или по пользователю, оцифровавшему ЭКГ.		



Диаграмма последовательности



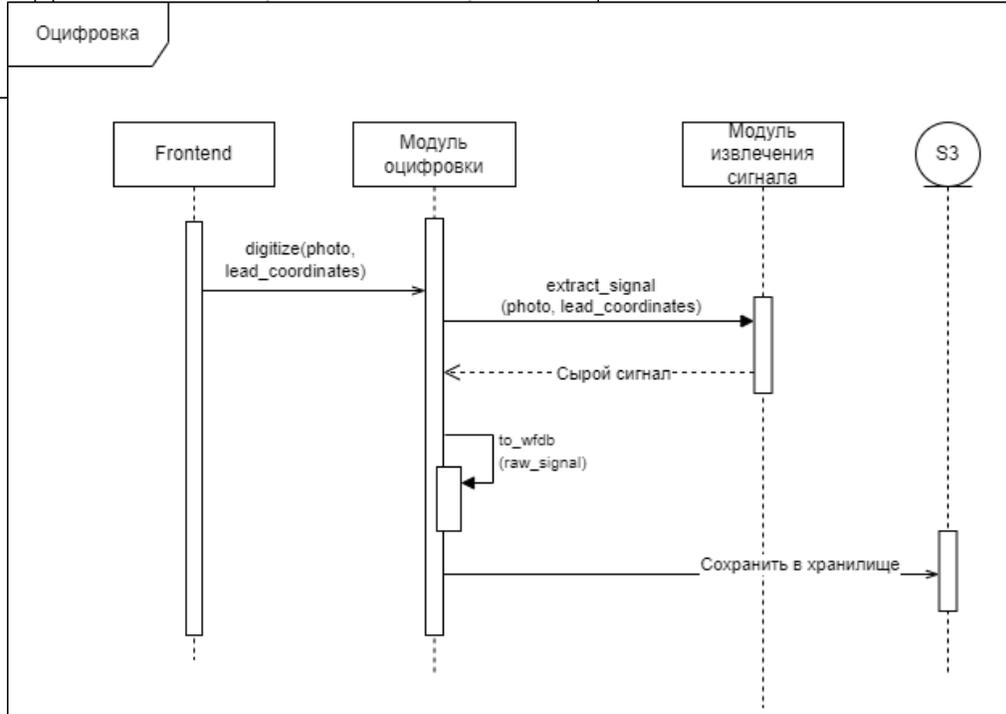
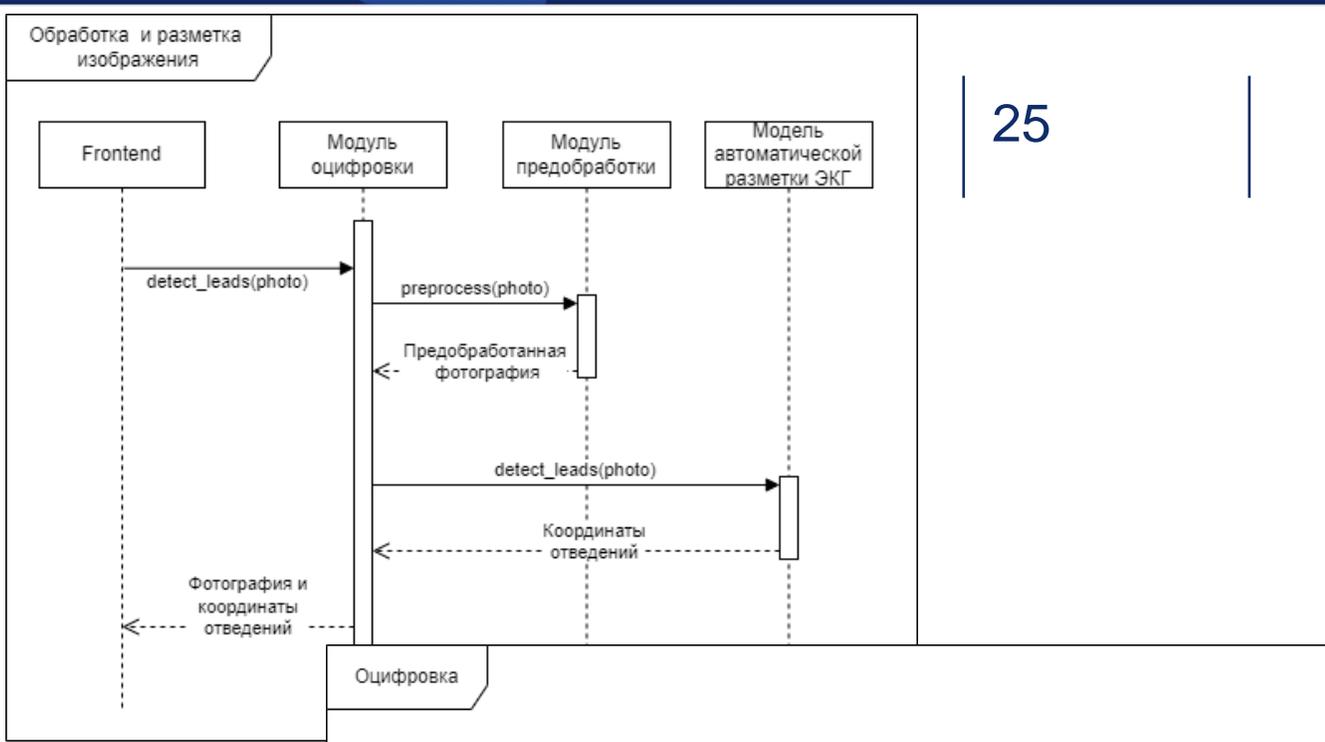
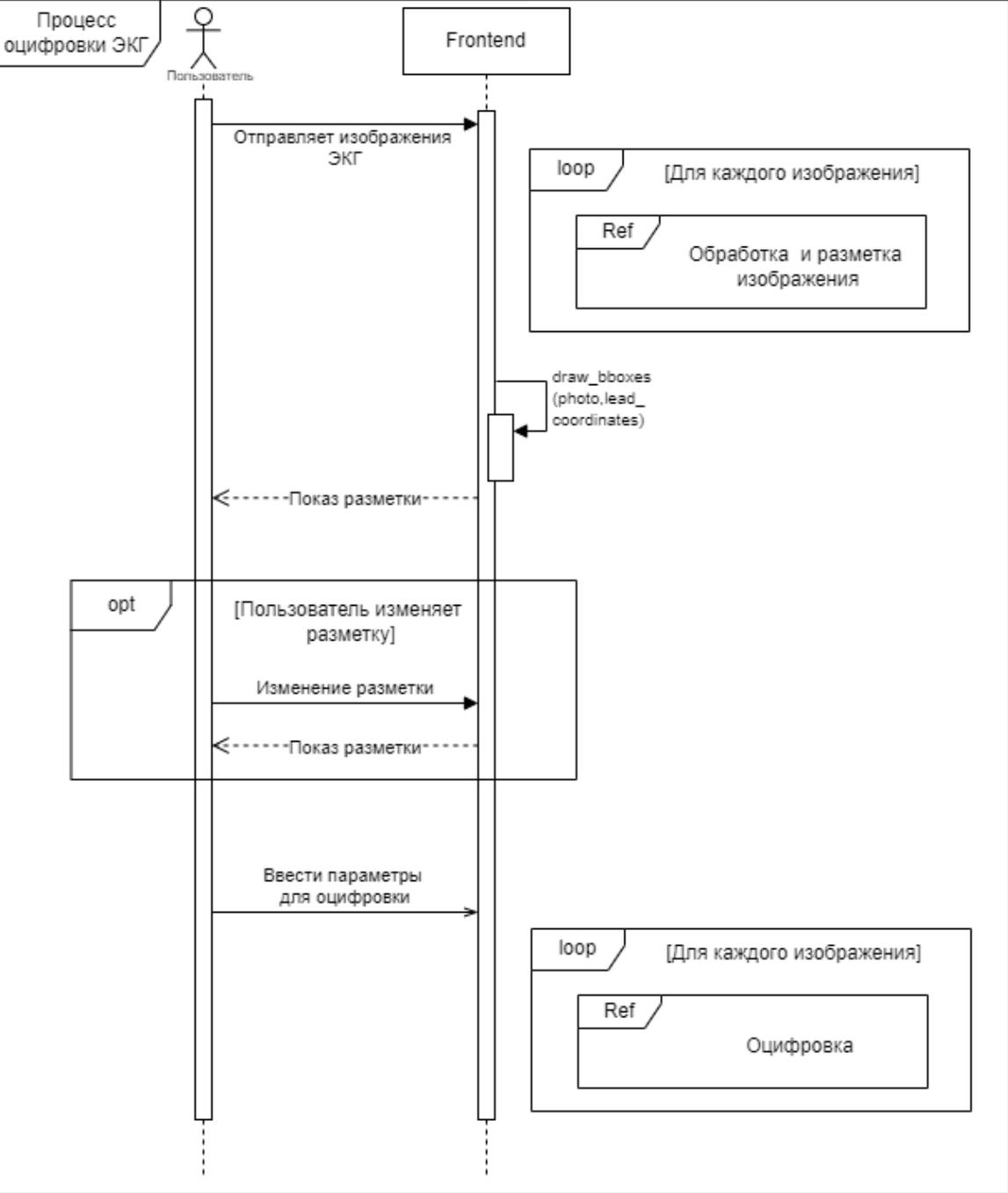




Диаграмма контекста

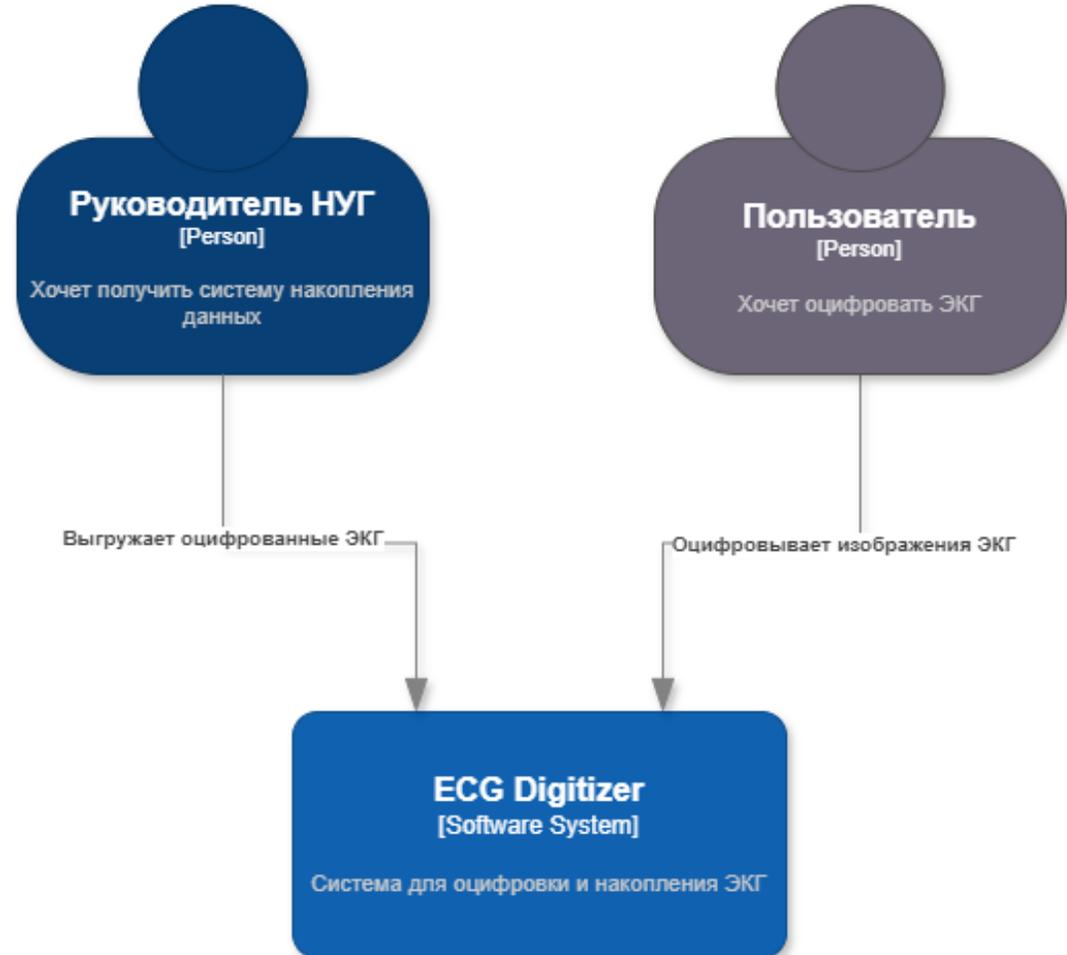




Диаграмма контейнеров

