

Восстановление участков сейсмограмм с помощью глубокого обучения

Гусев Андрей

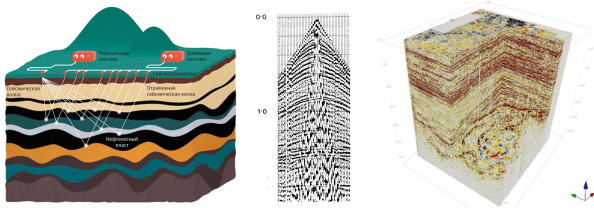
Научные руководители: Шпильман Алексей Александрович,
Суханов Роман Александрович

ВШЭ Санкт-Петербург

5 июня 2021 г.

Сейсмическая разведка

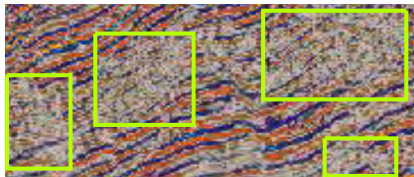
- ▶ Сейсморазведка - метод исследования строения земли, который базируется на распространении упругих волн
- ▶ Упругие волны возбуждаются источником и регистрируются приёмниками. После сложной обработки записей формируется **сейсмический куб** - трёхмерный массив характеристик почвы



- ▶ Сейсмический куб анализируется специалистами для оценки перспективности бурения в различных местах.

Проблема 1: Недоступные участки

- ▶ Некоторые места сейсмического куба бывают повреждены настолько, что специалист не может оценить их структуру. (Выделенные области на примере разреза)



- ▶ Например, встречаются области в несколько квадратных километров, закрытые отложениями, не пропускающими волны
- ▶ Делать выводы о таких местах невозможно
- ▶ Интерполяция информации о таких участках по их окрестности может помочь

Проблема 2: Ограничения на объём исследований

- ▶ Высокая стоимость сейсмической разведки ограничивает исследуемый объём
- ▶ В некоторых местах (заповедники, аэропорты и др.) проводить сейсмическую разведку невозможно из-за ограничений на работы, связанные с вибрациями
- ▶ Экстраполяция информации за пределы исследованной области может помочь делать выводы о неисследованных местах

Существующие решения для восстановления сейсмических данных

- ▶ Удаление шума с сейсмических кубов (не для полностью непригодных данных)
 - ▶ Приближение классических методов¹
 - ▶ Автокодировщик для сеймики, шум не передаётся²
- ▶ Дополнение сейсмических данных
 - ▶ Дополнение сейсмограмм в процессе обработки³ - требует исходных записей с приёмников
 - ▶ Восстановление куба по подмножеству его столбцов⁴ - другая задача, предсказываются небольшие группы столбцов

¹Liu et al.: Random noise suppression in seismic data: What can deep learning do?, 2018.

²M. Zhang et al.: Random Noise Attenuation Using Deep Convolutional Autoencoder, 2019

³Gadylshin K. et al.: Inpainting of local wavefront attributes using artificial intelligence for enhancement of massive 3-D pre-stack seismic data, 2020

⁴Li X. et al.: Seismic compressive sensing by generative inpainting network: Toward an optimized acquisition survey, 2019

Существующие решения для дополнения изображений

- ▶ Image inpainting: заполнение пропусков в изображениях (интерполяция)
- ▶ Используются GAN⁵, слои для обработки пропусков⁶, дополнительные функции потерь⁷
- ▶ Image outpainting: предсказание информации за пределами доступной части изображения (экстраполяция)⁸

⁵Iizuka S. et al.: Globally and Locally Consistent Image Completion, 2017

⁶Yu J. et al.: Free-Form Image Inpainting with Gated Convolution, 2018

⁷Liu G. et al.: Image Inpainting for Irregular Holes Using Partial Convolutions, 2018

⁸Sabini M. et al.: Painting Outside the Box: Image Outpainting with GANs, 2018

Предлагаемое решение

1. Для непригодных для использования участков:
 - ▶ Выделить участки сейсмического куба, данные по которым непригодны для использования
 - ▶ Удалить эти данные
 - ▶ Предсказать их значения методами из области image inpainting
2. Для ограничения на объём разведки:
 - ▶ Экстраполировать информацию за пределы имеющегося разреза методами из области image outpainting

Цель и задачи

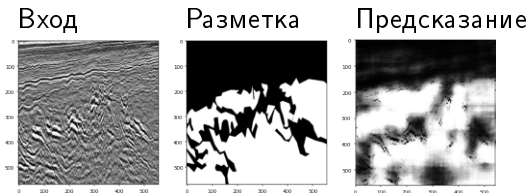
Цель: реализовать восстановление отсутствующих сейсмических данных с помощью методов глубокого обучения для дополнения изображений

Задачи:

- ▶ Реализовать автоматическое выделение непригодных участков сейсмического куба
- ▶ Реализовать восстановление отсутствующих фрагментов
- ▶ Реализовать экстраполяцию за пределы исследованного куба

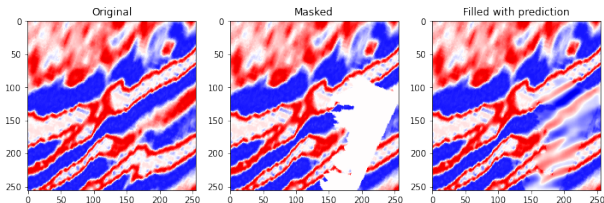
Выделение участков повреждённых данных

- ▶ Ставится задача семантической сегментации: разделить сейсмический разрез на качественные и повреждённые участки
- ▶ Для подготовки датасета на изображениях разрезов вручную отмечались области с нечитаемой структурой
- ▶ Предобучение на синтетических данных, полученных наложением шума на чистые сейсмические срезы
- ▶ Модель U-Net, пробовались различные слои
- ▶ Слой depthwise separable convolution: ROC AUC 0.91 на валидационной и 0.83 на тестовой выборке



Дополнение областей неправильной формы

- ▶ Области различной формы удалялись из чистых срезов
- ▶ Восстанавливались моделью архитектуры U-Net со слоями Gated convolution

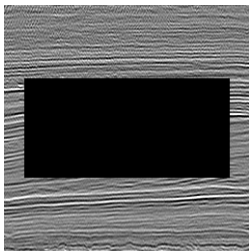


Коэффициент корреляции

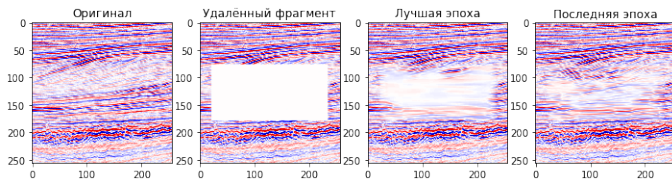
Модель	Корреляция
Бигармоническая интерполяция	0.53
U-Net+GConv	0.69
U-Net+GConv+WGAN	0.66
U-Net+GConv+WGAN+perception/style loss	0.47

Дополнение областей правильной формы, решение

- ▶ Более сложная задача - удаляется более крупная область ($>5\text{км}$ по горизонтали)
- ▶ Фиксированный прямоугольник в центре фрагмента
- ▶ GAN показал неудовлетворительные результаты



Дополнение областей правильной формы, результаты

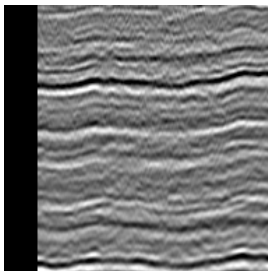


Коэффициент корреляции

Модель	Test	Val
Бигармоническая интерполяция	<0.01	<0.01
Простой U-Net, лучшая	0.18	0.36
Простой U-Net, последняя	0.18	0.36
Residual, лучшая	0.21	0.38
Residual, последняя	0.16	0.33
Gated convolution, лучшая	0.14	0.38
Gated convolution, последняя	0.17	0.36
Partial convolution, residual, лучшая	0.22	0.39
Partial convolution, residual, последняя	0.16	0.37

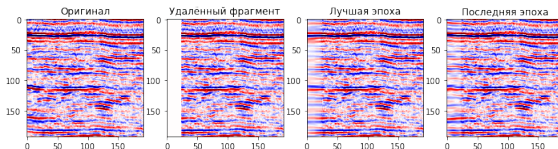
Экстраполяция, решение

- ▶ Тестовая выборка: по 5% слева и справа каждого среза
- ▶ Для модели удалённая часть всегда находится слева

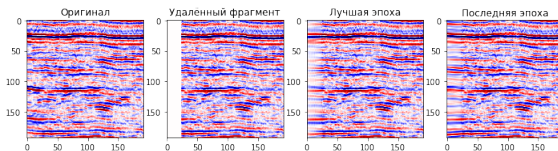


Экстраполяция, результаты

U-Net+
GConv



WGAN+
perception/style
loss



Коэффициент корреляции

Модель	Test	Val
Бигармоническая интерполяция	0.37	0.37
U-Net+GConv	0.53	0.59
U-Net+GConv+WGAN	0.52	0.60
U-Net+GConv+WGAN+perception/style loss	0.53	0.59

Выводы

- ▶ Реализована сегментация повреждённых участков на срезах сейсмических данных (AUC 0.83)
- ▶ Реализовано заполнение пропусков в сейсмических данных (корреляция 0.22-0.69)
- ▶ Реализована экстраполяция за пределы исследованной области (корреляция 0.53)
- ▶ Состязательное обучение и дополнительные функции потерь, делающие изображения более реалистичными, не улучшают коэффициент корреляции