

Разработка метода выделения коэффициентов спектрограмм электрофаций на базе технологии MFCC

Д. И. Руйго

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
smolldru@gmail.com

В. Л. Литвинов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
vlad.litvinov61@gmail.com

Аннотация. Работа направлена на формализацию методологии подготовки спектральных данных электрокаротажа, аналогичной методологии на базе анализа мел-кепстральных коэффициентов для дальнейшего использования полученных последовательностей при обучении моделей сверточных нейронных сетей. В процессе выделения коэффициентов входной спектр преобразуется посредством последовательных операций разложения спектра, перемножения векторов спектра сигнала с оконной функцией и дискретного косинусного преобразования. В результате проведенного исследования посредством череды преобразований по методологии MFCC сформированы последовательности коэффициентов, характерные для определенных электрометрических моделей морских фаций. Результаты исследования указывают на возможность применения методологии MFCC на этапе подготовки выборки для обучения моделей сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: фациальный анализ, мел-кепстральные коэффициенты, MFCC, сверточные нейронные сети

I. ВВЕДЕНИЕ

Фациальный анализ является одним из ключевых этапов разведки нефтяных месторождений и существенно влияет на принятие технологических решений при оценке и первичном освоении продуктивных резервуаров. Одним из этапов современного фациального анализа является этап классификации электрофаций по характерным формам каротажных диаграмм. Актуальной проблемной ситуацией этапа классификации электрофаций является отсутствие эффективных моделей автоматического анализа входного массива данных [1], что приводит к необходимости проведения ручного анализа данных электрокаротажа и увеличению трудозатрат специалистов, проводящих фациальный анализ изучаемого стратиграфического горизонта. Одной из причин низкого качества получаемых в данный момент моделей является низкое качество выделения характерных признаков электрометрических моделей классифицируемых фаций.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Данная работа направлена на формализацию методологии подготовки спектральных данных

электрокаротажа, аналогичной методологии на базе анализа мел-кепстральных коэффициентов для дальнейшего использования полученных последовательностей при обучении моделей сверточных нейронных сетей.

Каротаж потенциала собственной поляризации (ПС) (Spontaneous Potential log (SP)) – один из самых распространенных электрических методов геофизических исследований скважин, основанный на изучении естественных электрических полей.

На рис. 1 представлены примеры электрометрических моделей и наименований (по В.С. Муромцеву [2]) прибрежно-морского и мелководно-морского комплексов фаций.



Рис. 1. Примеры электрометрических моделей фаций

Все электрофации помимо характерной визуальной формы электрометрической модели характеризуются такими отличительными характеристиками как:

- знак отклонения кривой α ПС;

- максимальное значение α ПС;
- ширина аномалии ПС (м);
- положение максимального значения α ПС;
- максимальная динамическая активность среды седиментации;
- уменьшение значения α ПС.

В терминологии геофизики, α ПС – нормированное значение ПС, при котором значения ПС соотносятся с интервалом от 0 до 1, при принятии значения 0,5 за центральную линию, относительно которой описывается ряд рассмотренных выше характеристик.

III. ПРИМЕР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПЕКТРА ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В методологии мел-кепстрального преобразования [3] входной спектр преобразуется в последовательность коэффициентов сигнала, характеризующих звучание того или иного слова посредством последовательных операций разложения спектра на мел-шкале, перемножения векторов спектра сигнала с оконной функцией и дискретного косинусного преобразования. Взяв данную методологию за основу выделим характерные последовательности спектральных коэффициентов для фации русловой отмели и фации песков разливов речных пойм.

Исходная электрометрическая модель фации русловой отмели (изображение повернуто на 90 градусов) представлена на рис. 2.



Рис. 2. Фация русловой отмели

Исходная электрометрическая модель фации песков разливов представлена на рис. 3.

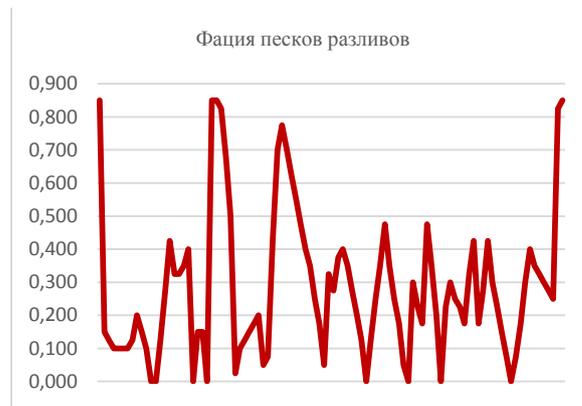


Рис. 3. Фация песков разливов

В методологии определения мел-кепстральных коэффициентов выделяют следующие этапы преобразования сигнала [4]:

1) Посредством дискретного преобразования Фурье (DFT) определяются спектры исходных электрометрических моделей фаций:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N}kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot [\cos(2\pi kn/N) i \cdot \sin(2\pi kn/N)],$$

$$(k = 0, \dots, N - 1).$$

Полученные графики DFT представлены на рис. 4 и 5.

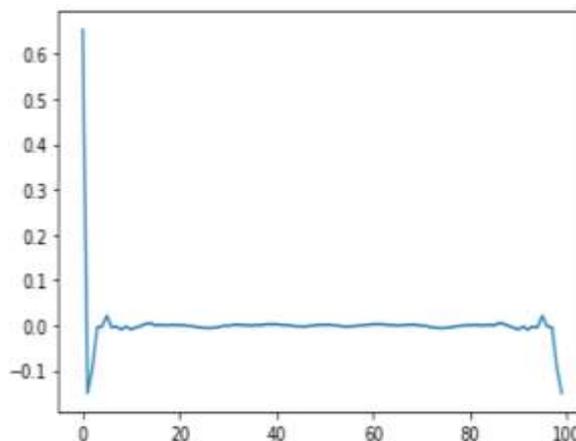


Рис. 4. DFT фации русловой отмели

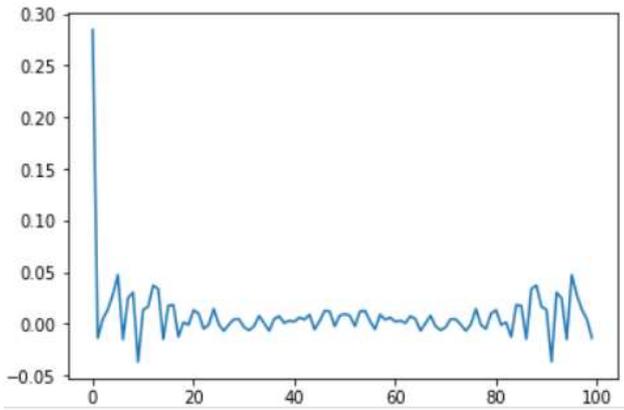


Рис. 5. DFT фации песков разливов

2) Для рассматриваемых фреймов вычисляется периодограмма по следующей формуле:

$$P(k) = \frac{|X_k|^2}{N}$$

3) Вычисляется блок мел-фильтров. Каждый треугольный фильтр моделируется с помощью следующей функции:

$$H_m(k) = \begin{cases} 0, & k < f(m-1) \\ \frac{k-f(m-1)}{f(m)-f(m-1)}, & f(m-1) \leq k < f(m) \\ \frac{f(m+1)-k}{f(m+1)-f(m)}, & f(m) \leq k < f(m+1) \\ 0, & k > f(m+1) \end{cases}$$

4) Полученные энергии логарифмируются:

$$S(m) = \ln \sum_{k=0}^{N-1} P(k)H_m(k), 0 \leq m < M.$$

5) Посредством дискретного косинусного преобразования получают итоговые мел-кепстральные коэффициенты:

$$c(n) = \sum_{m=0}^{M-1} S(m) \cos\left(\frac{\pi n \left(m + \frac{1}{2}\right)}{M}\right), 0 \leq n < M.$$

Существующие исследования задач звукового распознавания, указывают на достаточность тринадцати первых коэффициентов для получения качественных моделей. В задачи синтеза моделей распознавания электрометрических моделей фаций достаточное количество коэффициентов еще не определено. Визуализация первых тринадцати коэффициентов для фации русловой отмели и фации песков разливов, полученная посредством функции `librosa.display.specshow` библиотеки Librosa среды языка Python представлена на рис. 6 и 7.



Рис. 6. MFCC фации русловой отмели



Рис. 7. MFCC фации песков разливов

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что полученный набор значений позволяет заменить значительно больший набор отсчетов в исходных электрометрических моделях фаций, при этом формирует уникальную комбинацию коэффициентов, характерных определенному типу фации. Подобное сокращение характерных признаков позволит в значительной степени увеличить скорость как обучения моделей, построенных на базе сверточных нейронных сетей, так и идентификации электрофаций на каротажных диаграммах скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хасанов М.М., Автоматизация литолого-фациального анализа на основе спектральной теории. // Журнал «Нефтяное хозяйство» апрель 2016.
- [2] Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел — лито-логических ловушек нефти и газа. М.: Недра, 1984. 260 с.
- [3] Davis S. and Mermelstein P. Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences. In IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 28. No. 4, 1980.
- [4] Первичный анализ речевых сигналов [Электронный ресурс] // Alpha Cephei Inc. URL: <https://alphacephei.com/ru/lecture1.pdf> (Дата обращения: 01.07.2021).