

Понимаш Захар Алексеевич

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ИЗ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ТРАНСФОРМЕР

В этом докладе представлен нейросетевой алгоритм для автоматического извлечения признаков из цифровых сигналов, основанный на модифицированной архитектуре трансформера. Основное отличие предложенной модели от классической архитектуры трансформера заключается в добавлении нелинейного слоя после модуля самовнимания, что позволяет улучшить выявление сложных зависимостей в данных. Признаки формируются на скрытом слое во время одновременного решения задач классификации, прогнозирования и фильтрации. Описаны структура и работа модифицированного блока трансформера.

Трансформеры, нелинейный слой, цифровая обработка сигналов, нелинейный слой.

Ponimash Zakhar Alekseevich

NEURAL NETWORK ALGORITHM FOR AUTOMATIC FEATURE EXTRACTION FROM DIGITAL SIGNALS BASED ON TRANSFORMER NEURAL NETWORKS

This paper presents a neural network algorithm for automatic feature extraction of digital signals based on a modified transformer architecture. The main difference between the proposed model and the classical transformer structure is the addition of a linear layer after the self-attention module, which makes it possible to improve the identification of complex dependencies in the data. Features are gradually hidden while simultaneously solving classification, prediction and filtering problems. The structure and operation of the modified transformer block are described.

Transformers, nonlinear layer, digital signal processing, nonlinear layer.

Введение

В последние годы использование нейросетевых моделей для анализа и обработки цифровых сигналов стало одним из ключевых направлений в области машинного обучения [1-9]. Традиционные методы извлечения признаков, основанные на ручной настройке и эвристических подходах, постепенно уступают место автоматическим системам. Нейросетевые алгоритмы используются в задачах анализа медицинских сигналов [1-3], задачи

демодуляции модулированного сигнала [4], так же в прочих областях среди которых, распознавание речи [5], определение диктора [6]. Одним из наиболее перспективных подходов в этой области являются трансформеры — нейросетевые архитектуры, которые по ряду характеристик превосходят сверточные и рекуррентные нейронные сети, и используются для обработки как текста, так и цифровых сигналов [9, 10], кроме того, они нашли применения и во многих других задачах.

Мой доклад посвящен разработке и исследованию модифицированной архитектуры трансформера для автоматического извлечения признаков из цифровых сигналов. В процессе работы была внедрена новая структура трансформера, включающая модифицированный блок трансформера, в котором после модуля самовнимания добавлен нелинейный слой. Это нововведение позволило улучшить способность модели к выявлению сложных и нелинейных зависимостей в данных.

В докладе рассмотрен принцип работы предлагаемой архитектуры, описан модифицированный блок трансформера и нелинейный слой.

Основная часть

Основная идея данного подхода заключается в применении подхода для извлечения признаков из цифровых сигналов, аналогичного тому подходу который сейчас применяется сейчас в нейронных сетях для генерации текста, таких как GPT3.5, gpt 4, mistral[10] и т.п.. Т.е. решать задачу прогнозирования временного ряда, в данной работе происходит прогнозирования в двух временных точках, k и $k+n$, где $k \geq 0, n > 0$, кроме того, решается задача классификации сигналов. Классификация работает следующим образом, сигнал нарезается на блоки по 130 отсчетов, после чего вычисляется спектральная плотность мощности каждого блока и эти блоки кластеризуются при помощи алгоритма k -means. Далее берется вектор этого блока из слоя извлечения признаком и предсказывается метка класса.

Такой подход с двумя с ошибками получаемыми при решении 2-х задач прогнозирования, и одной задачи классификации приводит к тому, что на скрытом слое (с которого извлекаются признаки), агрегируется информация о сигнале, достаточная для решения всех 3х задач. В этой работе $k = 0, n = 1$.

На рис. 1 приведена архитектура нейросети для извлечения признаков. Сигнал поступает на модифицированный блок трансформера. В предлагаемой архитектуре трансформера после модуля самовнимания добавлен нелинейный слой. Эта модификация позволяет улучшить выявление сложных и нелинейных зависимостей в данных. Нелинейный слой состоит из двух

линейных слоев функций активации, которые улучшают способности к обучению и обобщению (рис. 3). Сам модифицированный блок трансформера изображен на рис. 2. После к выходу описанного выше блока применяется сигмоидальная вектор-функция, на которой и выделяются признаки, далее следуют системы прогнозирования и классификации.

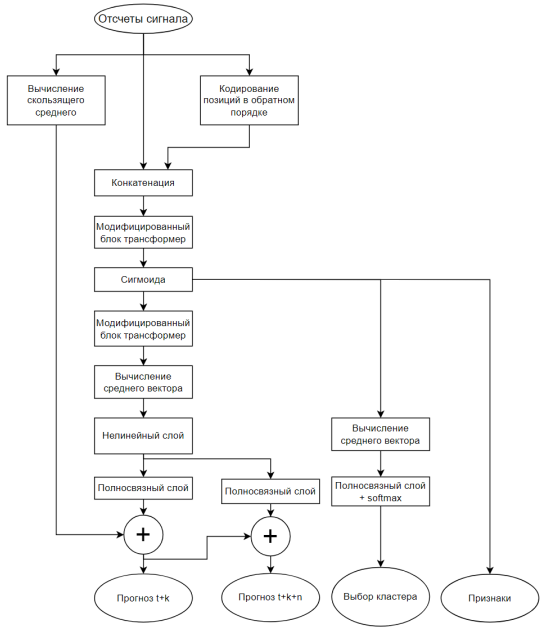


Рис. 1. Архитектура нейронной сети для извлечения признаков, $k = 0$, $n = 1$

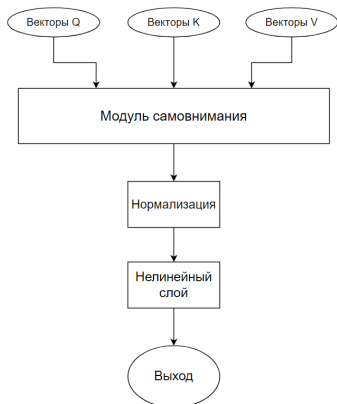


Рис. 2. Модифицированный блок трансформера, после модуля самовнимания добавлен нелинейный слой

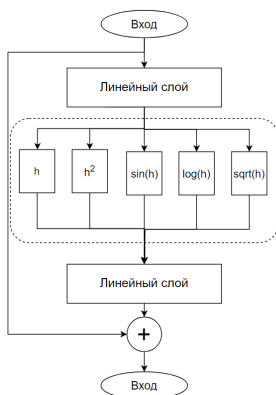


Рис. 3. Архитектура нелинейного слоя

Ниже показаны примеры решения задач прогнозирования и фильтрации сигнала. На рис. 4, показан пример фильтрации, средняя метрика R2 для задачи фильтрации между фильтрованным и сигналом без шума составила 0.81. А для задачи прогнозирования (рис. 5) – 0.78, f1 метрика для классификации составила 0.91.

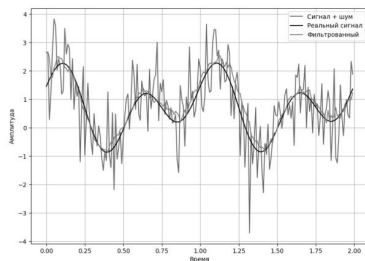


Рис. 4. Результат работы на задаче фильтрации

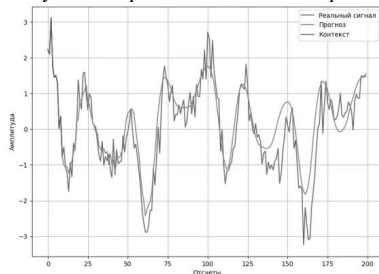


Рис. 5. Результат работы на задаче прогнозирования

Выводы

В этой работе представлена модифицированная архитектура трансформера для автоматического извлечения признаков из цифровых сигналов. Добавление нелинейного слоя после модуля самовнимания позволяет улучшить способность модели к выявлению сложных зависимостей в данных. Экспериментальные результаты демонстрируют значительное повышение эффективности по сравнению с традиционными методами и стандартными архитектурами трансформеров. Извлеченные признаки с применением данного алгоритма могут использоваться в последствии для классификации сигналов, таких как ЭЭГ, ЭКГ, речь, данные сейсмографов и т.п., а также для предсказания параметров сигналов и систем, например для выбора начальных условий при моделировании отраженного сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев Д.М., Шумилин А.С., Минюк А.Н., Понимаеш З.А.. Система автоматического поиска участков эпилептической активности в составе облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – Режим доступа:

- <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37371> (дата обращения: 31. 05. 2024)
2. *Алексеев Д.М., Шумилин А.С., Минюк А.Н., Понимаиш З.А.*. Ансамбль классификаторов: реализация, оценка эффективности и интеграция в облачную платформу хранения, систематизации и обработки медицинских данных // *Современные наукоемкие технологии.* – 2019. – № 9. С. 20-25.
 3. *Алексеев Д.М., Минюк А.Н., Понимаиш З.А., Шумилин А.С.* Разработка и описание структуры и функционала облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных: интеграция системы автоматического поиска участков эпилептической активности// *Системы управления и информационные технологии*, №3(77), 2019. – С. 52-55.
 4. *Shilian Zheng, Xiaoyu Zhou, Shichuan Chen, Peihan Qi, and Xiaoni Yang*, "DemodNet: Learning Soft Demodulation from Hard Information Using Convolutional Neural Network". 2020.
 5. *S. A. Zahorian, A. M. Zimmer, and F. Meng*. Vowel Classification for Computer based Visual Feedback for Speech Training for the Hearing Impaired in ICSLP. 2002.
 6. *Понимаиш З.А.*. Разработка алгоритма классификации сигналов на основе нейронных сетей. 2018. — Режим доступа: <https://hub.lib.sfedu.ru/repository/material/800841304/> (дата обращения: 31. 05. 2024)
 7. *Fernandez, Santiago; Graves, Alex. Schmidhuber, Jürgen*. Sequence labelling in structured domains with hierarchical recurrent neural networks. *Proceedings of IJCAI*. 2007.
 8. *Turker I., Serkan K., Levent E., Askar M., Gabbouj M.*. Real-Time Motor Fault Detection by 1D Convolutional Neural Networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2016
 9. *Yihong D., Ying P., Muqiao Y., Songtao L., Qingjiang S.*. Signal Transformer: Complex-valued Attention and Meta-Learning for Signal Recognition. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.04392>. 2021. — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2106.04392> (дата обращения: 31. 05. 2024)
 10. Albert Q. Jiang, Alexandre Sablayrolles, Arthur Mensch, Chris Bamford, Devendra Singh Chaplot, Diego de las Casas, Florian Bressand, Gianna Lengyel, Guillaume Lample, Lucile Saulnier, L elio Renard Lavaud, Marie-Anne Lachaux, Pierre Stock, Teven Le Scao, Thibaut Lavril, Thomas Wang, Timoth ee Lacroix, William El Sayed // *Mistral 7B* // 10.10.23 // <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.06825>

Понимаш Захар Алексеевич, аспирант 3-го курса ИРТСУ ЮФУ, телефон: +7 (988) 546-47-39, email: ponimashz@mail.ru.

Ponimash Zakhar Alekseevich, 3rd year graduate student at IRTSU SFU, phone: +7 (988) 546-47-39, email: ponimashz@mail.ru.