

Распознавание оптических мод Лаггера-Гаусса с использованием сверточной нейронной сети

А.В. Бехтерев

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
bekhterev98@mail.ru

Аннотация—В работе проведено исследование влияния аффинных преобразований на точность распознавания мод Лаггера-Гаусса сверточной нейронной сетью. Показано, что наличие искажений снижает точность классификации на восемь процентов.

Ключевые слова—нейронные сети, моды Лаггера-Гаусса, аффинные преобразования, машинное обучение.

1. ВВЕДЕНИЕ

Наука о данных сегодня претерпевает бурное развитие [1]. Причина заключается в росте объёмов связанной информации, которую необходимо быстро обработать в автоматическом режиме. Создание методов, с помощью которых вычислительные системы выполняют анализ таких данных, является объектом исследования машинного обучения [2]. В ходе развития теории в этой области науки появился новый инструмент с широкими возможностями в различных предметных областях - нейронная сеть [3]. Наиболее популярный класс задач, решаемых с его применением – анализ и классификация различного рода данных. В частности, для анализа и классификации изображений и видео используются сверточные нейронные сети [4].

Благодаря своей гибкости нейронные сети смогли найти применение в различных областях современной науки и техники [5]. В частности, в наши дни количество информации, передаваемой между цифровыми устройствами, достигает невероятного объема. Пропускная способность имеет ограничения, связанные с волоконно-оптическими нелинейными эффектами в оптических системах связи [6]. Одним из способов решения данной проблемы являются моды Лаггера-Гаусса [7], но распознавание поступившего сигнала зачастую затрудняется из-за помех и искажений. Целью данной работы является исследование возможности сверточной нейронной сети распознавать оптические моды Лаггера-Гаусса при наличии в наборе данных другого класса оптических мод – Эрмита-Гаусса, а также изучение влияния аффинных преобразований, как одного из способов искажения сигнала, на точность распознавания.

2. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ

Моды Лаггера-Гаусса – это решения уравнений Максвелла в свободном пространстве в параксиальном приближении, в цилиндрических координатах [8]. Нейронная сеть будет обучаться и тестироваться на изображениях мод. Для их формирования будет использоваться библиотека LightPipes высокоуровневого языка программирования Python. В результате работы программы будут формироваться изображения для мод Лаггера-Гаусса и Эрмита-Гаусса. Они будут отличаться

варьированием степени l и порядка p . Также определяются неизменяемые параметры, такие как длина волны, размер поля изображения, размерности и масштаб. Длина волны на протяжении всего эксперимента будет неизменной, так как ее значение не влияет на итоговое изображение интенсивности. В ходе исследования будут меняться в основном два параметра: степень и порядок. Именно они дают разительное отличие изображений мод друг от друга. Результаты генерации изображений оптических мод представлены на Рис. 1.

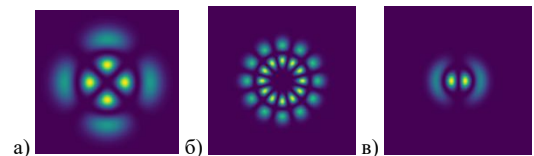


Рис. 1. Изображения мод Лаггера-Гаусса при заданных входных параметрах: а) $p=2, l=1$; б) $p=2, l=1$, в) $p=2, l=2$

Путем варьирования параметров были получены два набора данных с модами Лаггера- и Эрмита-Гаусса размером по четыре тысячи изображений каждый. Следующим этапом требовалось провести аффинные преобразования, которые производились также с использованием программных средств языка Python, а именно фреймворка TensorFlow. В результате были сформированы наборы из пяти тысяч изображений, которые получались в результате координатного сдвига под заданным углом. Примеры изображений мод после применения аффинных преобразований представлены на Рис. 2.

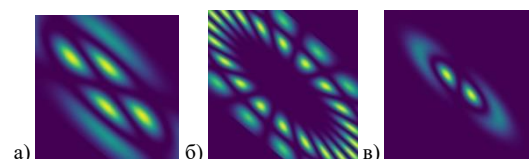


Рис. 2. Изображения мод Лаггера-Гаусса после применения аффинных преобразований

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для задачи распознавания мод Лаггера-Гаусса на языке Python с помощью фреймворка TensorFlow была создана сверточная нейронная сеть, которая принимает на вход изображения двух классов оптических мод, а на выходе определяет их вероятность принадлежности к определенному классу. В данном случае возможными классами являются моды Лаггера- и Эрмита-Гаусса.

Сверточная нейронная сеть основана на использовании последовательной модели Sequential. В структуре участвуют сверточные слои Conv2D с функцией активации ReLU, вспомогательные слои MaxPooling2D и

Dropout, а также полносвязные слои Dense с функциями активации ReLU и Sigmoid. Вместе они формируют структуру сверточной нейронной сети, представленную на Рис. 3.

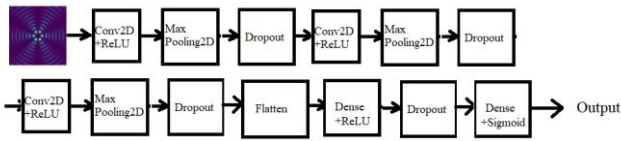


Рис. 3. Архитектура разработанной сверточной нейронной сети

Обучение и тестирование нейронной сети проводилось на различных данных. Для того, чтобы исследовать влияние аффинных преобразований на точность классификации мод, были сформированы по два набора размерностью по пять тысяч на каждый тип изображений: без преобразований, с преобразованиями и их комбинация. При одном запуске нейронной сети, обучение и тестирование производилось на двух наборах одного типа размерностью по десять тысяч, но содержащих различные изображения. На Рис. 3 представлены графики точности распознавания, которые получились в результате проведенного исследования.

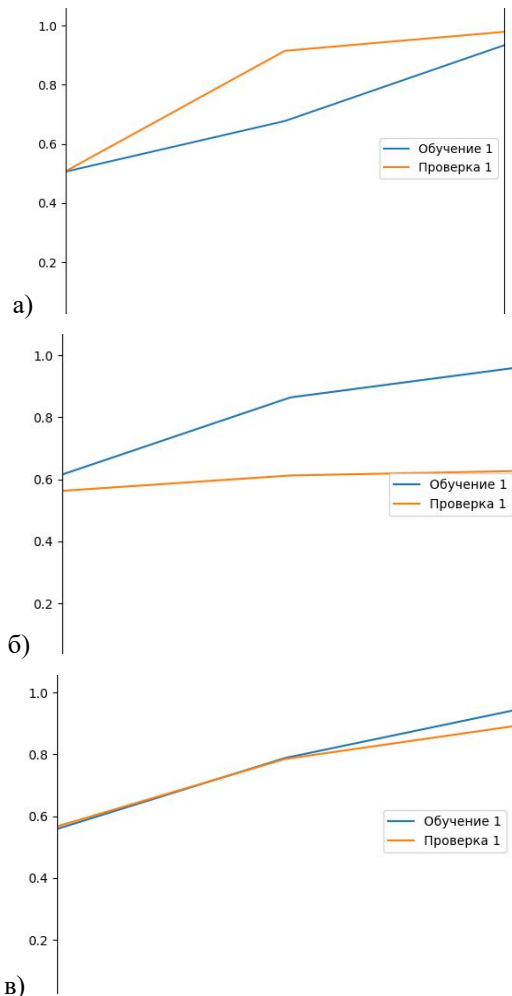


Рис. 4. Графики точности распознавания мод Лаггера-Гаусса на наборе изображений: а) без преобразований; б) с преобразованиями; в) из комбинации наборов с преобразованиями и без

Из графиков видно, что при наборе данных с изображениями мод Лаггера-Гаусса без использования аффинных преобразований точность распознавания сверточной нейронной сети достигает порядка 97,91%. При обучении и тестировании на наборе, содержащем только преобразованные моды точность значительно падает до 62,69%. На последнем наборе данных, состоящем из комбинации изображений точность, по сравнению с первым запуском, незначительно снижается до 89,1%.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы были сформированы наборы данных с изображениями мод Лаггера- и Эрмита-Гаусса, которые также были подвергнуты применению аффинных преобразований. С помощью полученных наборов, а также смоделированной сверточной нейронной сети, была исследована зависимость точности распознавания от входных данных. Было установлено, что точность классификации мод Лаггера-Гаусса имеет высокий показатель, порядка 97%, при распознавании мод без аффинных преобразований. Достаточно высокая точность достигается и при использовании смешанного набора данных – 89%. Классификация сильно ухудшается в случае, если все входные изображения подвергаются аффинным преобразованиям, и составляет 62%. Данное исследование может применяться для дальнейших работ, направленных на увеличение пропускной способности оптических систем связи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sarker, H. Mobile Data Science and Intelligent Apps: Concepts, AI-Based Modeling and Research Directions / H. Sarker, M. Moshui, K. Uddin, T. Alsanoozy // *Mobile Networks and Applications*. – 2021. – Vol. 26(1). – P. 1-19.
- [2] Zhang, X. A Matrix Algebra Approach to Artificial Intelligence / X. Zhang // *Machine Learning*. – 2020. – Vol. 15(13). – P. 223-440.
- [3] Abiodun, I. State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey / I. Abiodun, A. Jantan, E. Omolara, V. Dada, A. Mohamed, A. Humaira // *Heliyon*. – 2018. – Vol. 4(11). – P. 1-41.
- [4] Naranjo, J. A Review of Convolutional Neural Network Applied to Fruit Image Processing / J. Naranjo, M. Mora, R. Hernandez, R. Barrientos, C. Fredes, A. Valenzuela // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10(10). – P. 1-31.
- [5] Ye, S. Symmetrical Graph Neural Network for Quantum Chemistry with Dual Real and Momenta Space / S. Ye, J. Liang, R. Liu, X. Zhu // *The Journal of Physical Chemistry A*. – 2020. – Vol. 124(34). – P. 6945-6953.
- [6] Bozinovic, N. Terabit-Scale Orbital Angular Momentum Mode Division Multiplexing in Fibers / N. Bozinovic, Y. Yue, Yu. Ren, M. Tur, P. Kristensen, H. Huang, A.E. Willner, S. Ramachandran // *Science*. – 2013. – Vol. 340. – P. 1545-548.
- [7] Berry, M. Singularities in waves and rays / M. Berry // *Physics of defects. Les Houches Session XXXV*. – Amsterdam: North-Holland, 1980. – P. 453-543.
- [8] Ustinov, A.V. Local characteristics of paraxial Laguerre-Gaussian vortex beams with a zero total angular momentum / A.V. Ustinov, V.G. Niziev, S.N. Khonina, S.V. Karpeev // *Journal of Modern Optics*. – 2019. – Vol. 66(20). – P. 1961-1972.