

УДК 621.3.09

Архитектуры нейронных сетей и функции потерь для синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы

Сингин Александр Николаевич¹

SinginAN@mpei.ru

Щирий Андрей Олегович^{2(*)}

sao@izmiran.ru

SPIN-код: 8078-9492

¹ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва, Россия² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова, Москва, Троицк, Россия

Аннотация. Рассмотрена применимость искусственных нейронных сетей (ИНС) для синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы. Описана специфика предметной области и данных. Рассмотрены существующие подходы к решению аналогичных задач. Обозначены ключевые различия между типовой задачей генерации изображений и синтезом ионограмм. Проанализированы методы сравнения эталонной и сгенерированной ионограммы. Сделано заключение о неприменимости различных функций потерь в качестве целевых для поставленной задачи и предложены альтернативы.

Ключевые слова: радиозондирование, ионосфера, генеративные нейронные сети, условная генерация изображений, оценка схожести изображений

Введение. В данной работе предлагается рассмотреть применимость ИНС в качестве альтернативного способа синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы. Традиционно он основывается на решении краевой задачи распространения радиоволн в двумерно-неоднородной ионосфере, однако также существуют другие методы.

Методы и материалы; результаты. Синтез ионограмм в контексте глубокого обучения сводится к типовой задаче условной генерации изображения. В ней в зависимости от входного условия, которое задает характеристику генерации, получается выходное изображение. В качестве входа используются метаданные измерений, в качестве выхода — спектрограмма. Метаданные условно разделены на две группы: определяющие внешние условия и определяющие параметры измерений. Спектрограмма представляет собой характеристику зависимости времени группового запаздывания и амплитуды каждой моды распространения от частоты излучения при наклонном радиозондировании. Данные хранятся в специальном формате [1] и используются для обучения модели.

Качество решения задачи зависит от архитектуры ИНС и, используемой при обучении, функции потерь. Поэтому для достижения стабильного результата требуется адаптация существующих генеративных декодеров для работы с векторными представлениями, несущими физический смысл, и подбор функции потерь, отражающей недопустимость присутствия артефактов в выходном изображении.

Попиксельное сравнение изображений является распространенным способом оценки идентичности изображений [2]. Для обучения ИНС в качестве функции потерь использовалась одна из разновидностей — среднеквадратичная (MSE). При значимых в абсолютном эквиваленте результатах, составивших $\sim 0,04$, визуальная оценка результатов, не позволяла заявить о состоятельности решения. В ходе исследования феномена было установлено, что более 99,5 процентов пикселей ионограммы не несут в себе информации и являются шумом. Модель учится генерировать шум, функция потерь не принуждает к отрисовке деталей. Из-за неоднозначности выбора целевой метрики был проведен эксперимент по реконструкции идентичной ионограммы сверточными автоэнкодерами. В нем все метрики [2] выступили в качестве функции потерь и сравнивались между собой. Несостоятельность MSE воспроизвелась в рамках данного эксперимента, наилучший результат схожести показала метрика SSIM.

Заключение. Применение MSE и прочих метрик попиксельного сравнения для условной генерации ионограмм из вектора метаданных не приводит к достижению приемлемого результата из-за соотношения шума/значимой информации в спектрограммах. Оптимальной для данной задачи является метрика SSIM.

Список источников

- [1] Щирий А.О. Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолиний // *Журнал радиоэлектроники*, 2022, № 10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.10.4>
- [2] Chikhari A., Fnaiech F., Soudani A., Sayadi M. Comparison of image quality assessment: PSNR-HVS, SSIM, UIQI. International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT), 2016, pp. 280–285. <https://doi.org/10.1109/SETIT.2016.7939850>