

REFERENCES

1. Pauli, W. Über relativistische Feldgleichungen von Teilchen mit beliebigem Spin im elektromagnetischen Feld / W. Pauli, M. Fierz // *Helv. Phys. Acta.* – 1939. – Bd. 12. – S. 297–300.
2. Fierz, M. On relativistic wave equations for particles of arbitrary spin in an electromagnetic field / M. Fierz, W. Pauli // *Proc. Roy. Soc. London. A.* – 1939. – Vol. 173. – P. 211–232.
3. Fedorov, F. I. To the theory of particles with spin 2 / F. I. Fedorov // *Proceedings of Belarus State University. Ser. Phys.-math.* – 1951. – no 12. – P. 156–173.
4. Regge, T. On properties of the particle with spin 2 / T. Regge // *Nuovo Cimento.* – 1957. – Vol. 5, № 2. – P. 325–326.
5. Ovsyuk, E. M. Maxwell Electrodynamics and Boson Fields in Spaces of Constant Curvature / E. M. Ovsyuk, V. V. Kisel, V. M. Red'kov. – New York: Nova Science Publishers Inc., 2014. – 486 pages.

И. А. ВОЛК, Г. Л. МУРАВЬЕВ

УО БрГТУ (г. Брест, Республика Беларусь)

РАСШИРЯЕМЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РАБОТЫ С НЕЙРОСЕТЕВЫМИ АРХИТЕКТУРАМИ

Использование, в том числе для практических целей, методов искусственного интеллекта, нейросетевых технологий определило повышенную потребность в соответствующих средствах поддержки – специализированных библиотеках, языках, фреймворках, платформах.

Существует целый ряд инструментов для поддержки работы с нейросетевыми архитектурами (НА), представление о которых можно получить в многочисленных обзорах, например в [1]. Это платформа TensorFlow, реализованная специалистами фирмы Google Brain; система PyTorch; фреймворк лаборатории по изучению искусственного интеллекта компании Facebook-Theano, язык Python с набором специализированных библиотек типа SciPy, SciKit-Learn, язык Java с фреймворками Neuroph, Deeplearning4j и др.

Такие системы, используемые в практических приложениях, как правило, отличаются сложностью построения. Их эффективное применение требует значительных усилий для освоения, базируется на опыте программирования, владении математикой НА. Они мало “прозрачны”, что не способствует пониманию, снижает их ценность для целей обучения и изучения принципов работы, внесения пользовательских расширений. Это формирует потребность в “облегченных” средствах, приспособленных и одинаково полезных при обучении и решении типовых задач с применением нейросетевых методов.

В работе представлен проект и результаты макетирования расширяемого фреймворка для обучения и работы с произвольными многослойными НА как с системой взаимодействующих слоёв: полносвязанного, слоя разглаживания, изменения формы, слоя субдискретизации (пулинга) с функцией максимума для снижения размерности объекта, сверточного слоя.

В основу разработки положены принципы: открытость, читабельность кода; акцент на обеспечении базовой функциональности “ядра” средств с возможностью расширения; достижение расширяемости, модифицируемости соответствующим структурированием иерархии классов ядра, применением шаблонных классов, динамического полиморфизма.

Используемый математический аппарат, средства разработки: матричная и нейросетевая математика [2]; объектно-ориентированная и порождающая парадигмы для реализации проекта [3]; инструменты UML для получения и описания проектных решений.

Фреймворк базируется на библиотеке-иерархии классов поддержки НА и сервисных средств. Предусмотрена визуализация процессов обучения, обработки входных сигналов, динамики ошибок и т. п.

Условно классы можно разделить на четыре группы: “ядро” библиотеки, наборы стандартных (типовых) реализаций, сервисных составляющих и пользовательских расширений. Иерархия классов, шаблонов слоёв для построения НА, анализаторов ошибок, итераторов, иерархия шаблонов функторов активации представлена упрощенно диаграммой на рисунке 1.

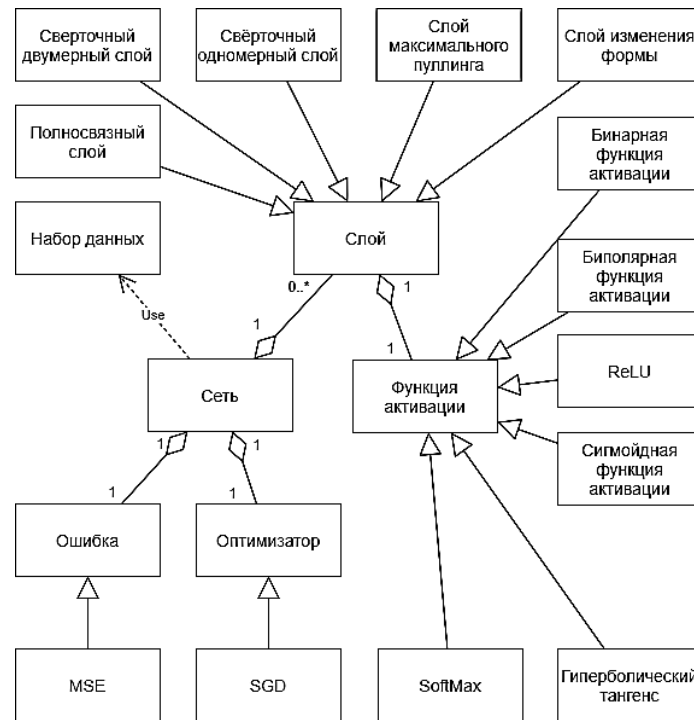


Рисунок 1. – Диаграмма классов системы

Ядро библиотеки включает базовые классы (Слой, Функция активации, Оптимизатор и др.), которые представляют компоненты нейросети и обеспечивают соответствующие интерфейсы, расширяемые или реализуемые при необходимости пользователем.

Слой – главный обрабатывающий элемент нейронной сети, используемый как строительный блок НА. В библиотеке представлены полносвязный, сверточный двумерный, одномерный, слой максимального пулинга, слой изменения формы. Функция активации – функтор, применяемый к выходному сигналу слоя. Соответственно каждый слой включает объект класса Функция активации или его производного класса. В библиотеке представлены бинарная, биполярная, сигмоидная функции активации, гиперболический тангенс, функции SoftMax, ReLU и др. Ошибка – класс для оценки отклонения выходного сигнала сети от эталона (здесь использована одна разновидность ошибки MSE – среднеквадратичное отклонение). Оптимизатор – класс, отвечающий за обновление синаптических связей нейронной сети (здесь использована реализация классического оптимизатора SGD – простой градиентный спуск).

Сеть – базовый класс библиотеки, объединяющий и инкапсулирующий частные компоненты и предоставляющий интерфейс для поддержки процессов конструирования, сохранения-загрузки НА, обучения или практического применения нейросетевой модели. При этом результаты конструирования и обучения сети могут быть сохранены и являются пригодными для дальнейшего использования.

Наборы стандартных реализаций поддерживают классы, реализующие интерфейсы ядра библиотеки. Они могут использоваться непосредственно в программировании НА. Для повышения универсальности использования средств введен класс-шаблон Набор данных – главный контейнер библиотеки, представляющий собой массив переменной длины для хранения данных произвольных типов.

Пользовательские реализации являются расширениями заложенных в библиотеку базовых функциональных возможностей – любой нужный, но недостающий компонент может быть добавлен к библиотеке путём наследования классов ядра, посредством реализации соответствующих интерфейсов.

Макетирование проекта, сборка демонстрационных примеров выполнены в системе MS Visual Studio на языке C++. Сборка примеров для системы Linux получена соответствующей системой сборки CMake. Фреймворк включает несколько десятков основных классов, содержит типовые решения, поддерживает программно-базовые функции работы с НА и представлен набором заголовочных файлов, позволяющих использовать модули без дополнительной сборки. Для целей тестирования проекта применялись инструменты платформы Google Test.

ЛИТЕРАТУРА

1. Топ-10 фреймворков для искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://vc.ru/ml/80391-top-10-freymvorkov-dlya-iskusstvennogo-intellekta-chast-pervaya>. – Дата доступа: 10.01.2021.
2. Головкин, В. А. Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие / В. А. Головкин, В. В. Краснопрошин. – Минск : БГУ, 2017. – 263 с.
3. Труб, И. И. Объектно-ориентированное моделирование на C++ / И. И. Труб. – СПб. : Питер, 2006. – 411 с.

Е. И. ГАЦКЕВИЧ, К. А. ЛЮБИНСКИЙ, К. В. СЕМЕНОВА

БНТУ (г. Минск, Беларусь)

ГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЛЕНТЫ МЕБИУСА

Лента Мёбиуса – это поверхность, которая получается при склеивании двух противоположных сторон АВ и CD прямоугольника ABCD так, что точки А и В совмещаются соответственно с точками С и D. Полученная поверхность является односторонней в трёхмерном пространстве. Её относят к непрерывным (топологическим) объектам. Указанная выше поверхность является классической лентой Мёбиуса. Если при склеивании противоположных сторон осуществить не одно, а несколько скручиваний, то также получается односторонняя поверхность. Лента Мёбиуса – это не только математический объект. Она широко используется в технике, например, для увеличения срока годности конвейерных лент или красящих лент в принтерах. Ленты Мебиуса вдохновляют писателей-фантастов, художников и скульпторов.

Настоящая работа посвящена исследованию свойств ленты Мёбиуса с помощью программы Mathcad. Рассмотрена возможность построения трёхмерных изображений ленты Мёбиуса, а также исследования её свойств.

Ленту Мёбиуса можно описать с помощью параметрических уравнений [1]:

$$\begin{cases} x(\lambda, \varphi) = \left(R + \lambda \cos \frac{\varphi}{n}\right) \cos \varphi \\ y(\lambda, \varphi) = \left(R + \lambda \cos \frac{\varphi}{n}\right) \sin \varphi \\ z(\lambda, \varphi) = \lambda \sin \frac{\varphi}{n} \end{cases} \quad (1)$$

где R – радиус окружности, построенной в трехмерной декартовой системе координат; λ – действительное число, определяющее положение точки на образующей (будет проиллюстрировано ниже); φ – принимает значения от 0 до 2π ; $n=2$.

На рисунке 1, а приведено изображение ленты Мёбиуса, построенное по формулам (1). При построении использовалась функция Mathcad CreateMesh(x,y,z, xmesh, ymesh), где x , y и z определялись по формулам (1). Параметры $xmesh$ и $ymesh$ выбираются пользователем и задают частоту сетки, в нашем случае $xmesh=10$ и $ymesh=40$. Мы также нанесли центральную линию ленты Мёбиуса, в этом случае при построении в уравнениях (1) полагается $\lambda=0$. Центральная линия ленты Мёбиуса представляет окружность. Линии сетки, перпендикулярные данной окружности, являются образующими ленты Мёбиуса. Угол образующей с плоскостью, проходящей через центральную окружность, т. е. с плоскостью Oxy, равен $\varphi/2$, где φ – полярная координата точки на окружности и параметр, входящий в уравнения (1).

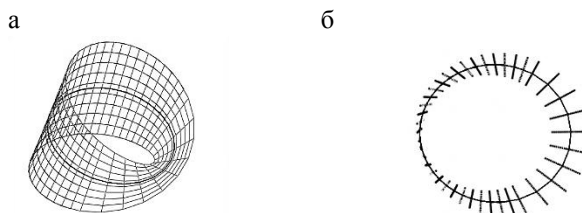


Рисунок 1. – Лента Мебиуса ($n = 2$) (а) и проекция её образующей на плоскость OXY (б)