

## ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ

Глинский И.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Смирнова И.А. – ассистент

В данной работе исследуются радиально-базисные сети - тип искусственной нейронной сети, который использует радиально-базисные функции в качестве активационных функций скрытого слоя. Эти сети характеризуются простой архитектурой и способностью быстро обучаться на нелинейных зависимостях. Также в качестве примера используется применение данной нейронной архитектуры на задаче обнаружения экзопланет из данных, собранных с помощью космического телескопа Кеплер.

Искусственная нейронная сеть - это вычислительная модель, имитирующая структуру человеческого мозга с целью обучения на основе данных и прогнозирования. Она содержит связанные между собой узлы (нейроны), размещенные в слоях, и адаптирует веса связей в процессе обучения для улучшения производительности.

Радиально-базисные функции (RBF) - это класс функций, использующих радиальные расстояния в многомерных пространствах для аппроксимации сложных функций и алгоритмов машинного обучения. Радиальные расстояния определяются как меры расстояния между точками, основанные на радиальной симметрии и их относительном положении.

Радиально-базисная функция в общем виде:

$$\varphi(x, c) = \varphi(\|x - c\|)$$

Где  $\varphi$  - радиальная функция,  $x$  - входной вектор данных,  $c$  - центр радиальной функции,  $\| \cdot \|$  - норма.

RBF используются в нейронных сетях как функции активации в скрытых слоях. Архитектура RBF-сетей включает в себя входной слой, скрытые слои с радиальными базисными функциями и выходной слой. Радиальные базисные функции позволяют обрабатывать непрерывные входные данные и определять расстояние между входными данными и центром функции. Центры нейронов и радиусы определяются в процессе обучения, и выходной слой производит результат обработки входных данных.

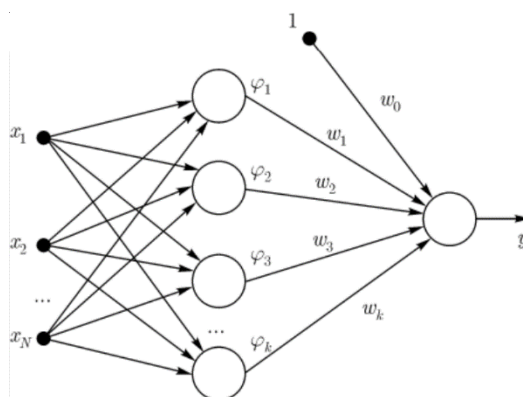


Рисунок 1 – радиально-базисная сеть [1]

Существует несколько типов радиально-базисных функций, которые могут быть использованы в радиально-базисных сетях. Некоторые из них:

Гауссовская функция:

$$\varphi(x, c) = e^{(-\sigma \|x - c\|^2)}$$

Где  $\varphi$  - радиальная функция,  $x$  - входной вектор данных,  $c$  - центр радиальной функции,  $\sigma$  – параметр масштабирования

Мультиквадратичная функция:

$$\varphi(x, c) = \sqrt{\|x - c\|^2 + \sigma^2}$$

Где  $\varphi$  - радиальная функция,  $x$  - входной вектор данных,  $c$  - центр радиальной функции,  $\sigma$  - параметр масштабирования.

Обучение радиально-базисной сети состоит из двух этапов:

1. Определение центров RBF  $c_i$  и параметров масштабирования для каждого нейрона  $i$  в скрытом слое.

2. Обучение весов  $w_i$  и смещения  $b$  между скрытым и выходным слоем.

Выход скрытого слоя нейрона  $i$  для входного вектора  $x$ :

$$h_i(x) = \varphi(\|x - c_i\|)$$

где  $\varphi$  - радиально-базисная функция,  $c_i$  - центр RBF для нейрона  $i$ .

Выход сети RBF-сетей для входного вектора  $x$ :

$$y(x) = \sum_{i=1}^n (w_i * h_i(x)) + b$$

где  $w_i$  - весовой коэффициент, связывающий нейрон  $i$  скрытого слоя с выходным слоем,  $b$  - смещение,  $h_i$  - выход  $i$  нейрона, а  $\Sigma$  - сумма по всем нейронам  $i$  скрытого слоя.

Также в работе было проведено исследование - обнаружение экзопланет, анализируя интенсивность света звезд. Выборка содержит временные ряды потока света от тысяч звезд и бинарные классификации наличия экзопланет. Данные получены от космического телескопа Кеплер NASA.

Обучающая выборка: 5087 строк, 3198 столбцов; 37 экзопланетных звезд, 5050 неэкзопланетных звезд. Тестовая выборка: 570 строк, 3198 столбцов; 5 экзопланетных звезд, 565 неэкзопланетных звезд.

Анализ показал нормальное распределение интенсивности светового потока, что обеспечивает основу для использования радиально-базисной сети с гауссовской функцией для обнаружения экзопланет.

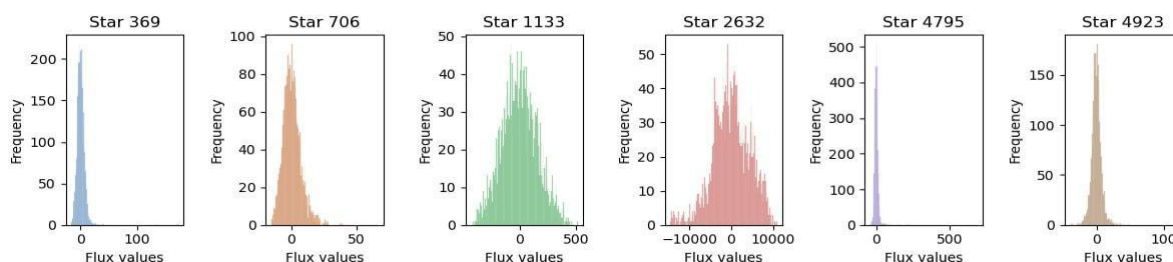


Рисунок 2 – графики распределения интенсивности светового потока

После проведения обучения модели в среде Python с использованием библиотеки TensorFlow была достигнута высокая точность в обнаружении экзопланет, равная 99 процентам. Это результат свидетельствует об эффективности применения искусственных нейронных сетей, основанных на радиально-базисных функциях, для анализа данных о природных явлениях, полученных с помощью космического телескопа Кеплер. Таким образом, успешно решается сложная задача поиска экзопланет в астрофизике с использованием современных методов машинного обучения.

Радиально-базисные сети являются мощным и гибким инструментом машинного обучения, способным аппроксимировать сложные нелинейные зависимости с высокой точностью. Их успешное применение на примере задачи астрофизики по обнаружению экзопланет, где достигнута точность 99%, демонстрирует возможности радиально-базисных сетей в решении сложных задач в разнообразных областях науки и техники.

**Список использованных источников:**

1. *Radial basis functions, multi-variable functional interpolation and adaptive networks* / D. S. Broomhead, D. Lowe // *Royal Signals and Radar Establishment Malvern (United Kingdom)*, 1988. – P. 1-35.
2. *NASA Exoplanet Archive* – [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblView/nph-tblView?app=ExoTbIs&config=koi>