

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

УДК 629.7

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ И РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЁМКИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

С.Н. Волков, С.Г. Казанцев, А.В. Фрянцев  
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)  
В.Г. Прокошев  
(ГООУ ВПО «ВлГУ»)

*Предложено использование алгоритма нейронных сетей, обеспечивающего эффективную реализацию методов определения количественных характеристик зондируемой поверхности, используя данные многоспектральной и радиолокационной съёмки поверхности Земли. Полученные по результатам дистанционного зондирования Земли данные разделялись на тестовые и обучающие, по которым производилось обучение нейросети для последующего решения обратной задачи.*  
**Ключевые слова:** многоспектральная съёмка, дистанционное зондирование Земли, нейронная сеть, обучение.

Оценка количественных характеристик зондируемой поверхности на основании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – один из важных разделов тематической обработки данных ДЗЗ.

Решение проблемы повышения эффективности обработки данных ДЗЗ возможно с помощью привлечения для этих целей алгоритма искусственных нейронных сетей. Основное преимущество нейросетей – возможность значительного повышения скорости вычислений. В частности, для решения задачи оценки количественных характеристик зондируемой поверхности по спектральным данным могут применяться нейросети с прямой связью (feed-forward), обучаемые по методу обратного распространения ошибок (backpropagation). Используемым нейросетевым алгоритмом является перцептрон [1], а способ его обучения представляет собой градиентный алгоритм обучения, который применяется для минимизации среднеквадратического отклонения текущего выхода и желаемого выхода нейросети.

Известен способ обработки данных ДЗЗ, включающий съёмку поверхности Земли с помощью средств дистанционного спектрального зондирования и выбор обучающих и тестовых участков с последующим обучением нейросети [2]. Такой способ применяется для качественного определения характеристик зондируемой поверхности Земли.

Недостатком этого способа является невозможность его применения для определения количественных характеристик при спектрально-зональных исследованиях, что необходимо при решении ряда народно-хозяйственных задач, например для определения проективного покрытия растительности на исследуемом участке земной поверхности [3].

В настоящей работе описывается способ оценки количественных характеристик зондируемой поверхности на основании данных дистанционного зондирования (многоспектрального и радиолокационного) и, в частности, количественных характеристик растительного покрова на поверхности Земли. Этот способ обеспечивает быстрое получение необходимых количественных характеристик исследуемой поверхности Земли и с невысокими трудозатратами в результате отказа от трудоёмкой процедуры определения инвариантных функций связи за счёт осуществления обучения нейросети по известным обучающим участкам, расположенным в пределах обрабатываемого изображения зондируемой поверхности.

Для обучения нейросети данные разделяют на обучающие и тестовые. После этого производят обучение нейросети с целью использования её для определения искомой количественной характеристики по данным ДЗЗ. По обучающим участкам выполняют обучение нейросети, т. е. её веса подбираются так, чтобы ошибка определения искомого растительного покрова была минимальна. Одновременно осуществляют контроль точности определения указанных характеристик на тестовых участках. Процесс обучения можно наблюдать на графиках упомянутых ошибок от шага обучения. Затем обученную нейронную сеть применяют для оценки количественных характеристик по результатам ДЗЗ.

Подобный контроль обучения позволяет определить, когда сеть настроилась на искомую количественную характеристику. В случае успешного обучения также вызывается известная ошибка определения количественной характеристики на тестовых условиях. После обучения нейросеть применяют для

определения искомой количественной характеристики в пределах всего снимка данных ДЗЗ.

Математические операции при реализации предлагаемого способа таковы [2]. Пусть имеется обучающая выборка  $\{x_i\}$ ,  $i = 1, \dots, k$ ; здесь  $x_i$  – векторы из пространства  $R^N$ . В качестве таких векторов используются спектры  $i$ -х пикселей спектральной съёмки. Обозначим  $y_i = y(x_i)$  – численное значение исследуемой характеристики  $i$ -го пикселя. Предполагается, что для элементов выборки априорно известны значения оцениваемой количественной характеристики  $\{y_i\}$ ,  $i = 1, \dots, k$ . Задача состоит в том, чтобы построить аппроксимацию неизвестной зависимости  $y = y(x)$  для любой точки из её области определения, которая обозначена как  $X$ . Множество  $X$  состоит из полного набора рассматриваемых векторов (спектров зондируемой поверхности)  $R^N$ .

Нейросеть, обычно называемая в литературе перцептрон с  $n$  нейронами скрытого слоя, реализует следующую аппроксимацию искомой зависимости

$$y(x) = C_0 + \sum_{j=1}^n C_j \sigma(a_j x + b_j), \quad (1)$$

где вектор  $a_j$  – вектор той же размерности, что и вектор  $x$ ;  $C_j$  и  $b_j$  – числа; выражение  $a_j x$  означает скалярное произведение. Функция  $\sigma$  – так называемая сигмоидная функция:

$$\sigma(z) = (1 + e^{-z})^{-1}.$$

Числа  $C_j$  и  $b_j$  и вектора  $a_j$  подбираются в процессе обучения перцептрона (веса). Само обучение производится по набору  $\{x_i\}$ ,  $\{y_i\}$ ,  $i = 1, \dots, k$  путём минимизации выражения среднеквадратической ошибки аппроксимации, а именно функционала

$$d = \sum_{i=1}^k (y(x_i) - y_i)^2.$$

Как известно, наиболее распространёнными методами минимизации функционалов указанного типа являются градиентные методы.

Для определения количественной характеристики зондируемой поверхности оказалось эффективным произвести предварительное масштабирование спектральной информации. Эта стандартная процедура заключается в переходе от векторов  $\{x_i\}$ , к векторам  $\{z_i\}$ ,  $i = 1, \dots, k$  с элементами

$$z_i^l = \frac{x_i^l - x_{\min}^l}{x_{\max}^l - x_{\min}^l}, \quad l = 1, \dots, n,$$

где  $x_i^l$  –  $l$ -я компонента вектора  $x_i$  ( $l$  – спектральный канал);  $z_i^l$  –  $l$ -я компонента вектора  $z_i$ ;  $x_{\max}^l, x_{\min}^l$  – максимальное и минимальное значение  $l$ -го спектрального канала по всему обучающему набору  $\{x_i\}$ . Для удобства в качестве  $n + 1$  компоненты в векторе  $z_i$  всегда добавляется единичный элемент

$$z_i^{n+1} = 1.$$

После указанных процедур выражение (1) оказалось возможным заменить на

$$y = C_0 + \sum_{j=1}^n C_j \sigma(a_j z),$$

где вектора  $a_j$  имеют ту же размерность, что и  $z$ . Обучение перцептрона производится методом обратного распространения ошибки.

### Заключение

Таким образом, для обработки данных много-спектральной и радиолокационной съёмки Земли был использован алгоритм нейронных сетей, обеспечивший более эффективную реализацию методов определения количественных характеристик зондируемой поверхности.

Проверка работоспособности разработанных методов показала их высокое качество – точность классификации составила 0,98, а величина среднеквадратической ошибки оценки параметров составила ~4 – 7 %. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что комплексированное использование многозональных и радиолокационных данных приводит к снижению ошибки по сравнению с многозональными данными.

### Литература

1. Нейрокомпьютеры и их применение / А. И. Галушкин // Сб. докладов Пятой всерос. конф. – М. : Радио и связь, 1999. – 484 с.
2. Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL / Morton J. Canty // CRC Press Taylor & Francis group. – 2007. – P. 143 – 202.
3. Приближённые аналитические формулы для расчёта коэффициентов спектральной яркости / Т. Нильсон, А. Кууск // Исслед. Земли из космоса. – 1984. – № 5. – С. 76 – 83.

Поступила в редакцию 14.11.2011

**Сергей Николаевич Волков**, д-р техн. наук, 1-й заместитель генерального директора – генерального конструктора, т. (495) 366-42-56.

**Сергей Геннадьевич Казанцев**, д-р техн. наук.

**Алексей Владимирович Фрянец**, аспирант, e-mail: pm203falex@mail.ru.

**Валерий Григорьевич Прокошев**, д-р физ.-мат. наук, профессор, первый проректор Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, т. (4922) 33-52-42, e-mail: laser@vlsu.ru.