

этом на них подается нагрузка в виде циклических температурных воздействий.

Разработанный метод и его программно-аппаратное решение позволяют отбирать из годных электронных устройств высоконадежные для работы в специализированных технических системах, которые могут быть подвергнуты экстремальным эксплуатационным нагрузкам.

### Оптическая спектроскопия

#### АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПСЕВДО-ОБРАТНЫХ МАТРИЦ

Суханов А.Я., Суханов Д.Я.

Томский Университет Систем Управления  
и Радиоэлектроники,

Томский Государственный Университет

В настоящее время нейронные сети находят широкое применение в различных задачах и областях, особенно целесообразно использовать их там, где недостаточно формализованы или неизвестны данные для строгого решения задачи. Обратная задача лидарного зондирования является некорректной задачей, потому предлагается для ее решения использовать нейронные сети. Решение задачи восстановления концентрации газа осуществляется из решения интегрального уравнения:

$$\int_0^H K_{abs}^{gas}(\lambda, h)n(h)dh + \tau_m(\lambda, h) + \tau_a(\lambda, h) = \tau(\lambda, h),$$

где  $\tau_m(h)$  - оптическая толщина как вклад молекулярного поглощения;

$\tau_a(h)$  - оптическая толщина как вклад аэрозольного поглощения;

$n(h)$  - концентрация газа;

$K_{abs}^{gas}(\lambda, h)$  - коэффициент поглощения;

$\tau(\lambda, h)$  - оптическая толщина.

Нейронная сеть строится таким образом, что в качестве входа служат значения оптической толщины на каждой высоте, а выходом служат значения концентрации. При этом удобно использовать сеть типа многослойный перцептрон.

В данной работе предлагается алгоритм настройки многослойной нейронной сети, основанный на матрично-векторных преобразованиях, для решения задачи лидарного зондирования. Если вход и выход нейронной сети представить в виде векторов, а весовые коэффициенты в виде матрицы, то связь входа нейронной сети с ее выходом можно представить в виде следующего выражения:

$$Y = F^K(W^K \cdot F^{K-1}(\dots F^2(W^2 \cdot F^1(W^1 \cdot X))))),$$

где,  $Y$  - матрица выходных обучающих примеров;

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Nomokonova N.N. The Microelectronics Lifetime Estimation. Pacific Science Review. ISSN 1229-5450. v. 4. 2002. P.72-75.

2. Номоконова Н.Н., Гаврилов В.Ю. Оценка ресурса полупроводниковых интегральных электронных устройств по информативным параметрам. // Проектирование и технология электронных средств. №4, 2002. с.43-47.

$F^K$  - вектор активационных функций  $K$  - го слоя;

$W^K$  - матрица весовых коэффициентов  $K$  - го слоя;

$X$  - матрица входных обучающих примеров.

Во входных и выходных матрицах обучающие примеры расположены в столбцах матрицы, каждая строка матрицы весовых коэффициентов принадлежит одному нейрону. Алгоритм заключается в выражении матриц коэффициентов через входную, выходную матрицы и активационные функции. Для однослойной сети данные выражения можно получить следующим образом:

$Y = F(W \cdot X)$ ,  $F^{-1}(Y) = W \cdot X$ , где  $F^{-1}$  - функция обратная к активационной функции.

Например, для активационной функции  $f(g) = \text{arctg}(g)$  активационная функция это

$g(f) = \text{tg}(f)$ , а для  $f(g) = \frac{1}{1+e^{-g}}$  это

$$g(f) = -\ln\left(\frac{1}{f} - 1\right).$$

Далее умножаем справа на транспонированную матрицу входных примеров,

$$F^{-1}(Y) \cdot X^T = W \cdot X \cdot X^T,$$

$$F^{-1}(Y) \cdot X^T \cdot (X \cdot X^T)^{-1} = W \cdot X \cdot X^T \cdot (X \cdot X^T)^{-1}$$

$$F^{-1}(Y) \cdot X^T \cdot (X \cdot X^T)^{-1} = W.$$

Алгоритм вычисления весовых матриц для многослойных сетей можно определить следующим образом:

$$(F^K)^{-1}(Y) = W^K \cdot F^{K-1}(\dots F^2(W^2 \cdot F^1(W^1 \cdot X)))$$

$$, W^K = F^{-1}(Y) \cdot FF^{K-1,T} \cdot (FF^{K-1} \cdot FF^{K-1,T})^{-1},$$

$$\text{где } FF^K = F^K(\dots F^2(W^2 \cdot F^1(W^1 \cdot X)));$$

$$(W^K)^T \cdot (F^K)^{-1}(Y) = (W^K)^T \cdot W^K \cdot FF^{K-1};$$

$$((W^K)^T \cdot W^K)^{-1} \cdot (W^K)^T \cdot (F^K)^{-1}(Y) = ;$$

$$= ((W^K)^T \cdot W^K)^{-1} \cdot (W^K)^T \cdot W^K \cdot FF^{K-1}$$

$$\begin{aligned} & ((W^K)^T \cdot W^K)^{-1} \cdot (W^K)^T \cdot (F^K)^{-1}(Y) = \\ & = F^{K-1} \left( W^{k-1} F^{k-2} \left[ \dots F^2 \left( W^2 \cdot F^1 \left( W^1 \cdot X \right) \right) \right] \right) \\ & (F^{K-1})^{-1} \left[ ((W^K)^T \cdot W^K)^{-1} \cdot (W^K)^T \cdot (F^K)^{-1}(Y) \right] \cdot \\ & \cdot FF^{K-2,T} \cdot (FF^{K-2} \cdot FF^{K-2,T})^{-1} = W^{k-1} \end{aligned}$$

Обозначим псевдо-обратные матрицы в виде:

$$WI^K = ((W^K)^T \cdot W^K)^{-1} \cdot (W^K)^T,$$

$$FI^K = FF^{T,K} \cdot (FF^K \cdot FF^{T,K})^{-1}.$$

Используя эти псевдо-обратные матрицы, получаем итерационные формулы (1). Элементы матрицы весовых коэффициентов сначала задаются случайным образом. Затем на основе входной, выходной матриц, а также на основе  $1, \dots, K-1$  весовых матриц вычисляется матрица  $W^K$ . Затем, используя новую матрицу  $W^K$ , вычисляется матрица  $W^{K-1}$  и т.д. для остальных слоев нейронной сети:

$$W^K = (F^K)^{-1}(Y) \cdot FI^{K-1},$$

$$W^{K-1} = (F^{K-1})^{-1}(WI^K \cdot (F^K)^{-1}(Y)) \cdot FI^{K-2}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} W^1 & = (F^1)^{-1}(WI^2 \cdot (F^2)^{-1}(\dots WI^K \cdot (F^K)^{-1}(Y))) \cdot \\ & \cdot X^T \cdot (X \cdot X^T)^{-1} \end{aligned}$$

Уточняя последовательно весовые матрицы, можно получить исходное решение. Было проведено тестирование метода, для двухслойной и однослойной нейронных сетей. Точность восстановления параметров для однослойной нейронной сети составляет 2-3 %, для двухслойной 1-2 %.

Достоинство алгоритма в том, что он обладает большей по сравнению с другими алгоритмами скоростью, но при этом возможны сложности с вычислением псевдо-обратных матриц, в этом случае необходимо прибегнуть к различным методам регуляризации. Также можно в обучающие матрицы ввести слабый шум. Для обучения сети данным методом рекомендуется выбирать линейно-независимые обучающие примеры во входных и выходных выборках. Также для нейронных сетей с большим числом слоев необходимо увеличивать регуляризирующий параметр. Начальные значения матриц весовых коэффициентов рекомендуется задать случайным образом с распределением, соответствующим обратной активационной функции.

### *Природно-ресурсный потенциал Сибири*

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА В РАМКАХ ПРОГРАММЫ "СИБИРЬ"**

Савчук Н.В.

*Ангарская государственная техническая академия*

Опыт разработки и реализации комплексной Программы "Сибирь" (с 1979 г.) является своеобразным феноменом в исследовании природно-ресурсного потенциала сибирского региона. По масштабности и значимости рассматриваемых проблем подобных программ не разрабатывалось применительно к другим районам страны. К работе по ее формированию было привлечено 50 институтов СО АН СССР и более 200 НИИ различных ведомств. Первоначально она состояла из 38 научных подпрограмм разной сложности и масштаба. К середине 1980-х гг. их количество увеличилось до 44, а число организаций-исполнителей - до 700. (1)

Цель программы состояла в научном обосновании и активном содействии комплексному освоению природных ресурсов. Её выполнение предусматривало многоэтапный процесс, с постоянной эволюцией целей и адаптацией существующей системы организации. Впервые в рамках одной программы были объединены теоретические, экспериментальные, прикладные исследования ресурсных, социально-экологических проблем и организован поиск конкретных технологических решений.

На первом этапе работ была проведена инвентаризация разрозненных научных достижений в исследовании природно-ресурсного потенциала, а затем сформулированы главные направления дальнейших

работ: вопросы оценки состояния и прогноза изменений природной среды; рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды; разработка новых технологических средств защиты природной среды от техногенного воздействия; реконструкция и охрана растительного и животного мира. Был намечен комплекс исследований, направленных на последовательную реализацию принципа ресурсосбережения за счет уменьшения объема отходов производства и минимизации воздействий на окружающую среду. Вытекающие отсюда требования постоянного совершенствования производственных технологий должны были, не препятствуя разумному развитию хозяйства, обеспечить одновременно рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, а также охрану окружающей среды в условиях интенсивного развития производительных сил. Участие научных коллективов в исследованиях по темам подпрограммы "Комплексное освоение природных ресурсов Сибири", "Благородные и редкие металлы", "Медь и никель Красноярского края", "Нефть и газ Восточной Сибири" и др. позволило решить многие проблемы региона.

Но уже к концу 1980-х гг. стали заметны недостатки в формировании направлений исследований и реализации разработок. На необходимость корректировки Программы "Сибирь" было указано в постановлении СМ СССР (1990 г.) "О развитии СО АН СССР на период до 2000 г." (2) Отмечалась низкая эффективность разработок, несмотря на их количественное увеличение, слабая конструктивность методических рекомендаций, а также определенный разрыв между теорией и практикой природопользования.