

ОДНОЭТАПНОЕ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ТИПОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ПО ИХ ОДИНОЧНЫМ ДАЛЬНОСТНЫМ ПОРТРЕТАМ

к.т.н. В.М. Орленко, А.С. Битюцкий
(представил д.т.н. Я.Д. Ширман)

Рассматривается вариант обучения нейрокомпьютерного алгоритма одноэтапному распознаванию типов воздушных целей по их одиночным дальностным портретам в предположении отсутствующей турбинной модуляции методом обратного распространения.

Постановка проблемы. Нейрокомпьютерные алгоритмы получили в последнее время широкое применение для решения широкого круга задач распознавания образов. В настоящее время существует множество вариантов построения искусственных нейросетей (ИНС), предназначенных для управляемого (с учителем) и неуправляемого (без учителя) обучения. Для решения сравнительно простых задач классификации, когда имеется возможность получения классифицированных выборок входных образов для устройства распознавания, обычно используют ИНС с обратным распространением Вербоса [1], ИНС на основе радиальных базисных функций и др. [2].

Анализ литературы. В настоящее время существуют другие достаточно эффективные алгоритмы распознавания целей, не использующие ИНС [3]. Однако, при использовании этих алгоритмов учет различных мешающих факторов (шум, неопределенность положения цели в пространстве) затруднен. При использовании ИНС учет мешающих факторов легко осуществить заданием соответствующих условий обучения.

Данное исследование основано на использовании методики математического моделирования вторичного излучения [3, 4] и является продолжением проведенных ранее исследований нейрокомпьютерных алгоритмов распознавания классов [3, 5].

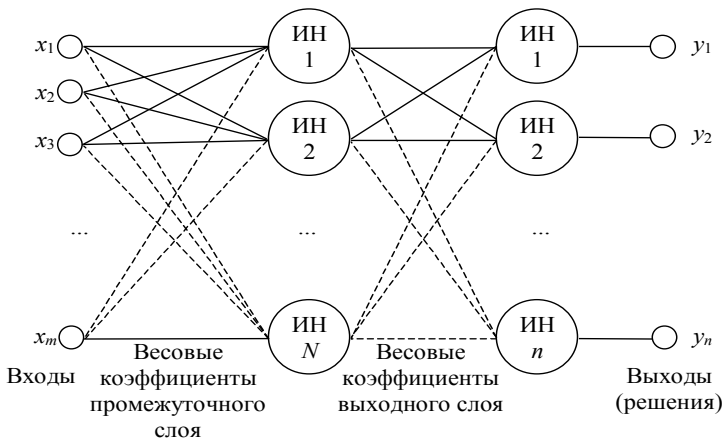
Ранее была показана уже принципиальная возможность качественного распознавания трех классов воздушных целей (самолет больших и средних размеров, крылатая ракета) по их одиночным ДП даже при отношениях сигнал-шум 16 – 18 дБ. Однако ограниченные вычислительные возможности ранее не позволили получить аналогичных результа-

тов по распознаванию типов воздушных целей.

В настоящее время получены результаты нейрокомпьютерного распознавания 9-ти типов воздушных целей (Ту-16, В-52, В1-В, Миг-21, F-15, Tornado, ALCM, GLCM, Decoy), принадлежащих трем классам, по их одиночным ДП.

Цель статьи – исследовать возможность использования ИНС Вербоса с обратным распространением для распознавания 9-ти типов воздушных целей по их одиночным дальностным портретам (ДП).

1. Общая характеристика ИНС, используемой для распознава-



ния. Для распознавания используется трехслойная ИНС (рис. 1).

Рис. 1. Трехслойная ИНС

Функционирование ИНС описывается системой уравнений [1]:

а) входного слоя ИН

$$y_i = x_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (1)$$

б) скрытого слоя ИН

$$y_j = f(\text{net}_j + \theta_j), \quad \text{net}_j = \sum_{i=1}^m w_{ij} X_i, \quad j = \overline{m+1, N}; \quad (2)$$

в) выходного слоя ИН

$$y_l = f(\text{net}_l + \theta_l), \quad \text{net}_l = \sum_{i=1}^N w_{jl} X_i, \quad l = \overline{N+1, N+m}. \quad (3)$$

Совокупность весовых коэффициентов w_{ij} образует K -мерный, где K – общее число весовых коэффициентов ИНС, весовой вектор ИНС \vec{W} , подлежащий определению в процессе обучения, θ_i – смещения нелинейных характе-

ристик $f(\cdot)$, которые адаптируются наравне с весовыми коэффициентами w_{ij} .

Для обучения ИНС на ее входы подается обучающая выборка, состоящая из P ДП $(1, 2, \dots, p, \dots, P)$. Каждому p -му обучающему ДП соответствует вектор требуемых откликов (решений) выходного слоя ИНС

$$\|d_{pl}\|, (l = \overline{N+1, N+n}).$$

Обучение каждого элемента ИНС проводилось в соответствии со схемой (рис. 2), на которой для наглядности показан только один искусственный нейрон [1].

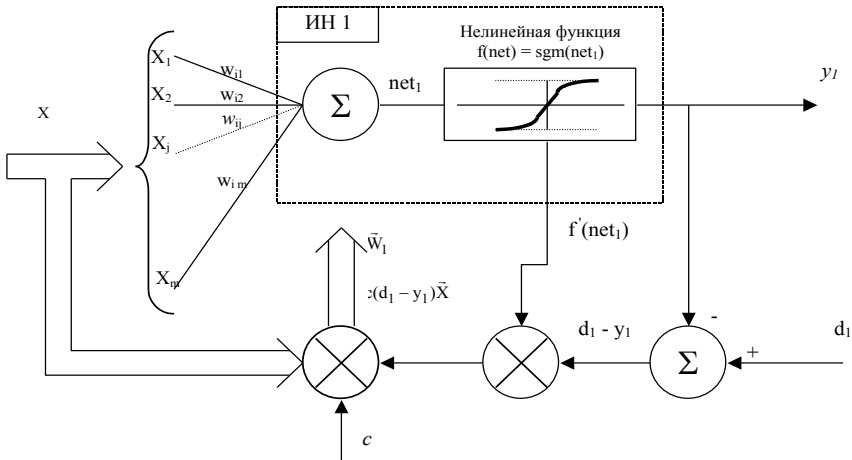


Рис. 2. Обучение элемента ИНС

Корректировка весовых коэффициентов \bar{W} и смещений $\bar{\theta}$ элементов, находящихся в выходном слое, на каждом шаге адаптации осуществляется в соответствии с выражениями:

$$\Delta_p w_{ij} = c \delta_{pi} y_j; \quad (4)$$

$$\Delta_p \theta_i = c \delta_{pi}. \quad (5)$$

Здесь

$$\delta_{pi} = f'(\text{net}_i + \theta_i) \cdot (d_{pi} - y_i), \quad j = \overline{m+1, N}, \quad i = \overline{N+1, N+n}. \quad (6)$$

Корректировку весовых коэффициентов \bar{W} и смещений $\bar{\theta}$ элементов, находящихся в промежуточном слое, осуществляют в соответствии с выражениями:

$$\Delta_p w_{jv} = c \cdot S_{pj} X_v; \quad (7)$$

$$\Delta_p \theta_j = c \cdot K_{pj}. \quad (8)$$

Здесь

$$S_{pj} = f'(\text{net}_j + \theta_j) \cdot \sum_{l=N+1}^{N+n} w_{lj} \delta_{pl},$$
$$K_{pj} = f'(\text{net}_j + \theta_j) \cdot \sum_{l=N+1}^{N+n} \delta_{pl}, \quad \eta > 0, \quad v = \overline{1, m}, \quad j = \overline{m+1, N}.$$

Значения δ_{pl} вычисляются по формуле, аналогичной формуле (6) для δ_{pi} .

Производная сигмоидной функции (6) определяется выражением

$$f'(\text{net}_i) = f(\text{net}_i) \cdot (1 - f(\text{net}_i)). \quad (9)$$

2. Условия моделирования. Расчет ДП 9-ти типов воздушных целей проводился с использованием программы [4] для сектора атакующих ракурсов ($0 - 20^\circ$ от носа). Для упрощения моделирования предполагалось отсутствие у целей турбинной модуляции.

Входной слой содержит m входов, на которые подаются отсчеты ДП в окне дальности (обычно 100 – 150 м). Для сокращения числа входов и устранения неопределенности положения в окне дальности ДП центрируются по медианному отсчету в меньшем окне (около 60 м). Число отсчетов зависит от интервала дискретизации сигнала по дальности. Мы применяем дискретизацию в два раза чаще, чем по Котельникову. При использованной полосе частот зондирующего сигнала 80 МГц, интервал дискретизации составил 1 м, а число отсчетов ДП, подаваемых на входы ИНС – 60.

Промежуточный (скрытый) слой содержит N элементов. Конкретное число промежуточных элементов варьировалось в разных опытах от 10 до 600.

Выходной слой содержит $n = 9$ элементов, по числу принимаемых решений.

При обучении используется т.н. вариант обучения с частичными итерациями, при котором весовой вектор получает приращения сразу же после предъявления на входы ИНС каждого обучающего дальностного портрета. Предъявление портретов целей разных типов чередовалось сначала по классам, затем по типам в следующем порядке: ДП первого класса (Ту-16), ДП второго класса (Миг-21), ДП третьего класса (ALCM), ДП первого класса (B-52), ДП второго класса (F-15), ДП третьего класса (GLCM) и т.д.

Конкретное число ДП, использованных для обучения, варьировалось от 10 до 100.

Обучение ИНС распознаванию и проверка качества ее функционирования проводились на фоне аддитивного шума. Среднее отношение

сигнал-шум при обучении составляло 25 дБ.

3. Результаты моделирования распознавания в предположении отсутствующей турбинной модуляции. Для обучения трехслойной ИНС, содержащей 600 промежуточных элементов, непосредственному распознаванию 9-ти типов целей использовалось по 100 портретов каждого типа целей. Само обучение потребовало около 30-ти часов машинного времени (Celeron, 1.2 ГГц, 256 МБ ОЗУ). Результаты проверки качества распознавания по 500 портретам каждого типа для среднего отношения сигнал-шум 25 дБ приведены в табл. 1 в виде матрицы условных вероятностей распознавания.

Время, требуемое для принятия решения (собственно распознавания), определяется временем прямого распространения и, при параллельном вычислении, может быть сведено к долям миллисекунды.

Таблица 1

Оценки условных вероятностей распознавания 9-ти типов целей при отношении сигнал-шум 25 дБ

Решение	Условие								
	Ту-16	Миг-21	ALCM	B1-B	Tornado	GLCM	B-52	F-15	Decoy
Ту-16	0.18	0	0.02	0	0.23	0.01	0.06	0	0
Миг-21	0.06	0.77	0.03	0	0.22	0	0.08	0.1	0
ALCM	0	0.01	0.13	0	0	0	0	0	0.23
B1-B	0.2	0.04	0	0.99	0	0	0.04	0.09	0
Tornado	0.08	0.07	0.04	0	0.55	0	0.01	0.02	0
GLCM	0	0.02	0.49	0	0	0.75	0	0	0
B-52	0.48	0.01	0.03	0.01	0	0	0.8	0	0
F-15	0	0.08	0.25	0	0	0.24	0.01	0.79	0
Decoy	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0.77

Полная вероятность правильного распознавания 9-ти типов по данным табл. 1 составила 0.64.

Из табл. 1 видно, что ИНС, содержащую 600 промежуточных элементов, пока не удалось обучить качественному распознаванию целей близких типов. Например, несмотря на способность правильного распознавания бомбардировщика B-1B с вероятностью 0.99, существует высокая вероятность перепутывания самолета Ту-16 с B-52, равная 0.48.

При сравнительно высоких вероятностях правильного распознавания истребителей F-15 (0.79) и Миг-21 (0.77) вероятность правильного распознавания истребителя Tornado снижена до 0.55 за счет возможности

его перепутывания с Миг-21 (0.22), и даже с Ту-16 (0.23).

Крылатая ракета ALCM может перепутываться не только с GLCM, но и с самолетом F-15, а ракета GLCM в основном перепутывается с F-15.

Ракета-ловушка в основном перепутывается с крылатой ракетой ALCM.

Выводы. Обучение алгоритмов нейрокомпьютерного распознавания является достаточно непростой задачей. Сложность обучения с использованием метода градиентного поиска (или т.н. метода обратного распространения) резко возрастает при увеличении числа промежуточных элементов. При этом сравнительно большое число распознаваемых типов и, соответственно, большое число дальностных портретов, требуемых для обучения ИНС, привело к тому, что ИНС не удалось обучить качественному распознаванию целей близких типов.

При обучении ИНС распознаванию типов воздушных целей желательно уменьшать размерность ИНС. Однако, это может привести к недостаточной ее "емкости". Для преодоления этого противоречия целесообразно разбить сложную задачу распознавания типов на совокупность более простых, например, распознавания классов и уточнения типа цели в пределах распознанного класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Werbos P. *Backpropagation Through Time: What It Does and How to Do It* // Proc. of IEEE, vol 78, № 10. – Oct. 1990. – P. 9 – 41.
2. Zurada J.M. *Introduction to artificial neural systems.* – West Publishing Company, St. Paul, New York, Los Angeles, San Francisco, 1992. – P. 3 – 24.
3. *Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Detection, Recognition and Tracking* / Ya. D. Shirman (ed.) – Artech House, 2002. – P. 31 – 58.
4. Shirman Ya. D., Gorshkov S.A., Leshchenko S.P., Orlenko V.M., Sedyshev S. Yu. *Radar Target Backscattering Simulation – Software and User's Manual*, Artech House, 2002. – P. 22 – 51.
5. Оrlenko В.М., Ширман Я.Д. *Моделирование нейрокомпьютерного и нейробайесовского алгоритмов распознавания воздушных целей по радиолокационным дальностным портретам* // Сб. статей ХВУ. – X.: ХВУ. – 1994. – № 5. – С. 39 – 48.

Поступила 13.05.2003

ОРЛЕНКО Валерий Михайлович, канд. техн. наук, ст. преподаватель каф. Харьковского военного университета. В 1992 году окончил Житомирское военное училище радиозлектроники ПВО. Область научных интересов – радиолокационное распознавание.

БИТЮЦКИЙ Александр Сергеевич, адъюнкт Харьковского военного университета. В 1997 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – разработка нейросетевых алгоритмов в задачах распознавания.