

## ДВУХЭТАПНОЕ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ТИПОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ПО ИХ ОДИНОЧНЫМ ДАЛЬНОСТНЫМ ПОРТРЕТАМ

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

*Рассматривается обучение нейрокомпьютерного алгоритма двухэтапному распознаванию типов воздушных целей по их одиночным дальностным портретам (ДП) в предположении отсутствующей и присутствующей турбинной модуляции методом обратного распространения. Вариант двухэтапного распознавания 9-ти типов воздушных целей с использованием искусственной нейросети (ИНС) сравнивается с вариантом аналогичного одноэтапного распознавания.*

**Постановка проблемы.** Нейрокомпьютерные алгоритмы на основе ИНС с обратным распространением Вербоса [1] уже были использованы для распознавания классов [2] и типов [3] воздушных целей. Однако существенно возросшая при распознавании типов размерность ИНС не позволяет качественно ее обучить. В результате цели близких типов могут перепутываться при распознавании. В настоящей работе рассматривается поэтому несколько видоизмененный вариант обучения ИНС двухэтапному распознаванию типов воздушных целей, позволяющий сократить размерности используемых ИНС и соответственно повысить качество их обучения.

**Анализ литературы.** Данное исследование, как и предыдущие, основано на использовании методики математического моделирования вторичного излучения [4, 5] и является продолжением проведенных ранее исследований нейрокомпьютерных алгоритмов распознавания классов [2, 3].

В [3] была показана возможность использования ИНС с обратным распространением для распознавания 9-ти типов воздушных целей. Однако за счет резко возросшей размерности ИНС не удалось получить достаточно высоких вероятностей правильного распознавания.

**Цель статьи.** Исследовать возможность сокращения размерности ИНС, используемой для распознавания типов, за счет использования двухэтапного распознавания. На первом этапе с помощью ИНС, обученной распознаванию классов, определяется принадлежность цели к одно-

му из трех классов, а на втором этапе с помощью одной из трех дополнительных ИНС, обученных распознаванию типов в пределах каждого из классов, уточняется принадлежность цели к одному из 9-ти типов.

**1. Условия моделирования.** Расчет ДП 9-ти типов воздушных целей, принадлежащих 3-м классам, проводился с использованием программы [5] для сектора атакующих ракурсов ( $0 - 20^\circ$  от носа).

Классы распознаваемых целей были представлены классом бомбардировщиков (Ту-16, В-52, В-1В), классом истребителей (Миг-21, F-15, Tornado), классом крылатых ракет (ALCM, GLCM, ракета ловушка на основе ALCM).

Вначале для упрощения моделирования предполагалось отсутствие у целей турбинной модуляции. Затем рассматривался случай наличия турбинной модуляции.

Входной слой всех ИНС содержал  $m = 60$  входов при использованной полосе частот зондирующего сигнала 80 МГц и интервале дискретизации в 1 м. ДП, как и ранее [3], центрируются по медианному отсчету в окне 60 м.

Промежуточные (скрытые) слои всех ИНС содержали  $N$  элементов. Конкретное число промежуточных элементов варьировалось в разных опытах от 10 до 60.

Выходные слои содержали  $n = 3$  элемента, по числу принимаемых решений. Решений о принадлежности к классам 3, и решений о принадлежности к типам в каждом классе также 3.

При обучении использовался 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 классов и типов чередовалось: ДП первого класса (Ту-16), ДП второго класса (Миг-21), ДП третьего класса (ALCM), ДП первого класса (В-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 проводилось на фоне аддитивного шума. Среднее отношение сигнал-шум при обучении составляло 25 дБ.

**2. Результаты моделирования распознавания в предположении отсутствующей турбинной модуляции.** Обучение ИНС, содержащей **100 промежуточных элементов**, распознаванию 3-х классов целей потребовало около 30 минут машинного времени (в отличие от 30 часов

при обучении одноэтапному распознаванию). При обучении использовались по 100 ДП каждого типа целей. Результат распознавания 500 ДП перечисленных выше типов целей к трем классам для среднего отношения сигнал-шум 25 дБ приводится в табл. 1.

Таблица 1

Оценки условных вероятностей отнесения целей различных типов к трем классам при отношении сигнал-шум 25 дБ

Решение	Условие								
	Ту-16	Миг-21	ALCM	B1-B	Tornado	GLCM	B-52	F-15	Decoy
Бол. разм.	<b>0.9</b>	0.02	0.02	<b>1</b>	0	0	<b>1</b>	0	0
Ср. разм.	0	<b>0.97</b>	0.04	0	<b>0.99</b>	0	0	<b>0.99</b>	0
Мал. разм.	0.1	0.01	<b>0.94</b>	0	0.01	<b>1</b>	0	0.01	<b>1</b>

Три дополнительных ИНС, имеющих всего **по 10 промежуточных элементов**, обучались с использованием 50 ДП каждого типа при среднем отношении сигнал-шум 25 дБ. В табл. 2 приводятся оценки условных вероятностей правильного распознавания типов в каждом из классов, полученные по 500 ДП каждого типа при среднем отношении сигнал-шум 25 дБ.

Таблица 2

Оценки условных вероятностей правильного распознавания типов в пределах распознаваемых классов для среднего отношения сигнал-шум 25 дБ

Класс	Цель большого размера			Цель среднего размера			Цель малого размера		
	Ту-16	B1-B	B-52	Миг-21	Tornado	F-15	Decoy	ALCM	GLCM
Оценка вер-ти	0.95	0.99	0.88	0.8	0.98	1	1	0.75	1

По данным табл. 1 и 2 определим условные вероятности правильного распознавания 9-ти типов путем перемножения условных вероятностей правильного распознавания соответствующего класса на условные вероятности правильного распознавания типа внутри класса. Результирующие оценки условных вероятностей правильного распознавания сведены в табл. 3.

Полная вероятность правильного распознавания 9-ти типов целей по данным табл. 3 составила 0.91. В результате моделирования было показано, что двухэтапное обучение ИНС распознаванию типов воздушных

целей позволило повысить качество распознавания с 0.64 до 0.91 и снизить размерность ИНС с 600 до 130 элементов в трех ИНС.

Таблица 3

Результирующие оценки вероятностей правильного распознавания 9-ти типов целей для среднего отношения сигнал-шум 25 дБ

Тип	Ту-16	Миг-21	ALCM	B1-B	Tornado	GLCM	B-52	F-15	Decoy
Оценка вер-ти	0.85	0.78	0.7	0.99	0.97	1	0.88	0.99	1

**3. Результаты моделирования распознавания целей в предположении присутствующей турбинной модуляции.** В данном эксперименте первая ИНС, содержащая **50 промежуточных элементов**, обучалась распознаванию трех классов целей, с использованием 200 ДП каждого из типов при среднем отношении сигнал-шум 25 дБ. Три дополнительных ИНС, содержащих **по 20 промежуточных элементов**, обучались распознаванию типов целей в пределах каждого из трех распознаваемых классов.

Оценки условных вероятностей распознавания классов для среднего отношения сигнал-шум 25 дБ, полученные по совокупностям из 500 ДП каждого типа, приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Оценки условных вероятностей распознавания трех классов целей для среднего отношения сигнал-шум 25 дБ

Решение	Условие								
	Ту-16	Миг-21	ALCM	B1-B	Tornado	GLCM	B-52	F-15	Decoy
Бол. разм.	<b>1</b>	0	0	<b>1</b>	0.06	0	<b>0.99</b>	0.01	0
Ср. разм.	0	<b>1</b>	0.01	0	<b>0.94</b>	0	0.01	<b>0.99</b>	0
Мал. разм.	0	0	<b>0.99</b>	0	0	<b>1</b>	0	0	<b>1</b>

Таблица 5

Оценки условных вероятностей правильного распознавания типов в пределах распознаваемых классов для среднего отношения сигнал-шум 25дБ

Класс	Цель большого размера			Цель среднего размера			Цель малого размера		
	Ту-16	B1-B	B-52	Миг-21	Tornado	F-15	Decoy	ALCM	GLCM
Оценка вер-ти	0.97	0.96	0.85	0.94	0.79	0.95	1	0.7	0.82

Оценки условных вероятностей правильного распознавания типов в классах приведены в табл. 5.

Результирующие вероятности распознавания типов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результирующие оценки вероятностей правильного распознавания 9-ти типов целей для среднего отношения сигнал-шум 25 дБ

Тип	Ту-16	Миг-21	AL CM	B1-B	Tornado	GL CM	B-52	F-15	Decoy
Оценка вер-ти	0.97	0.94	0.69	0.96	0.74	0.82	0.84	0.94	1

Полная вероятность правильного распознавания в данном опыте составила 0.87, что несколько ниже, чем в случае отсутствующей турбинной модуляции, но все же значительно выше, чем при одноэтапном распознавании.

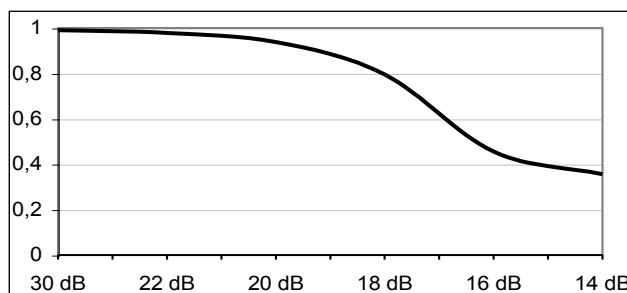


Рис. 1. Зависимость полной вероятности правильного распознавания трех классов от отношения сигнал-шум

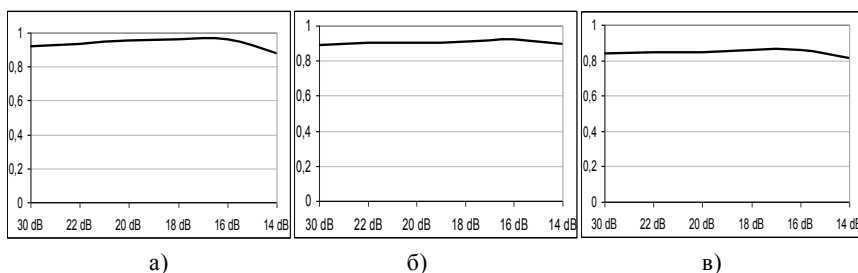


Рис. 2. Зависимость полных вероятностей правильного распознавания типов целей от отношения сигнал-шум: а) большого; б) среднего; в) малого размеров

Зависимость полной вероятности правильного распознавания трех классов от отношения сигнал-шум приводится на рис. 1. Зависимости

полных вероятностей правильного распознавания типов целей большого, среднего и малого размера большого, среднего и малого размера от отношения сигнал-шум показаны на рис. 2, а, б, в.

Видно, что на этапе распознавания классов влияние отношения сигнал-шум оказалось значительно сильнее, чем на этапе распознавания типов внутри каждого из классов.

**Выводы.** Использование двухэтапного распознавания позволяет существенно повысить качество обучения искусственной нейросети распознаванию типов воздушных целей. Оказалось также, что влияние шума гораздо сильнее сказывается на качестве распознавания классов, чем распознавания типов. Качество распознавания типов воздушных целей может быть повышено за счет использования совокупностей дальностных портретов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Werbos P. *Backpropagation Through Time: What It Does and How to Do It* // *Proc. of IEEE*. – 1990. – V. 78, № 10. – P. 9 – 41.
2. Орленко В.М., Ширман Я.Д. *Нейрокомпьютерное распознавание радиолокационных целей с учетом мешающих факторов* // *Методы радиолокационного распознавания*. – М.: Радиотехника. – 2000. – Вып. 3. – С. 82 – 85.
3. Орленко В.М., Битюцкий А.С. *Одноэтапное нейрокомпьютерное распознавание типов аэродинамических целей по их одиночным дальностным портретам* // *Системы обработки информации*. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 3. – С. 175 – 180.
4. *Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Detection, Recognition and Tracking* / Ya. D. Shirman (ed.). – Boston-London, Artech House, 2002. – 294 p.
5. 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.

Поступила 12.06.2003

**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.

---