

УДК 621.396.969

О.О. Дробахин, М.О. Дробахина, В.Г. Короткая, Г.Г. Шерстюк
**О ВОЗМОЖНОСТЯХ РАСПОЗНАВАНИЯ
РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С
ПОМОЩЬЮ МНОГОЧАСТОТНЫХ МЕТОДОВ В
МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ**

Аннотация. Показана возможность распознавания радиоизображений объектов в виде цилиндров и параллелепипедов, полученных на основе многочастотных измерений в микроволновом диапазоне, с использованием нейросетевых технологий. Рассмотрены случаи расположения объектов в свободном пространстве и за диэлектрическими преградами. Использованная сеть представляла собой трехслойный персептрон с 60 нейронами в скрытом слое.

Ключевые слова. Распознавание объектов, многочастотные микроволновые измерения, нейронные сети

Введение. Микроволновая измерительная техника нашла эффективное применение для решения задач, возникающих в различных отраслях промышленности [1]. Одной из важных задач является определение состояния металлических конструкций, при расположении их за диэлектрической преградой. Примерами таких задач являются состояние клапана, расположенного за диэлектрической преградой, состояние конструкции антенны, размещенной за антенным обтекателем из диэлектрика.

Анализ публикаций. Наиболее информативными являются широкополосные многочастотные сигналы, но их использование требует применения достаточно сложной аппаратуры в виде соответствующего измерительно-вычислительного комплекса [2]. При этом предусматривается переход во временную (а после соответствующего пересчета – в пространственную область) путем применения спектрального анализа, что позволяет при наличии сканирования в поперечном направлении получить трехмерные радиоизображения [3]. При распознавании объектов широко используются корреляционные методы, методы зондирования пилообразным сигналом, метод Прони

[4], однако последний может быть эффективно применен только в резонансной области. Развитие нейросетевых технологий [5] делает перспективным применение их для распознавания объектов, расположенных за диэлектрической преградой.

Постановка задачи. Для радиоизображений, полученных в виде матриц, содержащих отсчеты внесенного коэффициента отражения в зависимости от номеров отсчетов в продольном и поперечном направлениях, сформировать векторы, которые могут быть различены на основе нейросетевых технологий с использованием многослойного перцептрона.

Цель исследований. Расчет характеристик распознавания радиоизображений объектов простейшей формы в виде цилиндров и параллелепипедов, расположенных за диэлектрической преградой, полученных при помощи измерительно-вычислительного комплекса экспериментальным путем по данным многочастотных измерений, совмещенных с поперечным сканированием.

Основная часть. Измерения проводились в диапазоне частот 38-52 ГГц с пирамидальной рупорной антенной, сечение горловины 5,242,6 мм, апертуры 46446 мм, длиной рупора 120 мм. В качестве объектов исследования были выбраны металлические цилиндры диаметром (в мм) 25 (объект 1), 45 (объект 2), 75 (объект 3) и параллелепипед с поперечными размерами 25×25 мм, который был ориентирован к антенне гранью (объект 4) и ребром (объект 5).

Для обеспечения однопозиционного расположения аппаратуры многочастотный микроволновый измеритель имел одну антенну-зонд для облучения исследуемой структуры и приема отраженного сигнала. Непосредственно измеритель измерял отношение сигналов падающей и отраженной волн на ряде частот. Выделение и детектирование сигналов обеспечивалась волноводной рефлектометрической схемой из состава панорамного измерителя Р2 с направленными детекторами при использовании в качестве зонда одного из видов рупорных антенн. При этом для получения значений сигналов в каналах падающей и отраженной волн последовательно опрашивалась каналы АЦП, а отношение указанных сигналов вычислялось программно. Конструкция АЦП предусматривала функцию подачи напряжения смещения на детекторы для их вывода на линейный участок ВАХ. Электронная перестройка частоты генератора качающейся час-

тоты и использование индикатора КСВН обеспечивала работу системы в реальном времени.

Применение методов параметрического спектрального анализа позволило получить зависимость распределения характеристики отражения как функцию пространственной продольной координаты. Изменялись скалярные величины, сохранение информации о фазе достигалось использованием принципа фурье-голографии с использованием отражения от доминирующей неоднородности антенны в качестве опорного сигнала [2]. Измерительная система использовала медианное усреднение серии последовательно измеренных характеристик. Усреднение выполнялось только по получению всех характеристик, значения которых подлежали усреднению.

Сканирование осуществлялось перпендикулярно оси зондирования посредством цифрового управления системы с шаговым двигателем. Это давало набор характеристик отражения (кадров), которые могли быть удобно представлены в виде цифрового растрового графического изображения (2D-изображения). При этом должным образом нормированная амплитуда коэффициента отражения представлена яркостью пикселей, а горизонтальная и вертикальная оси изображения соответствовали осям продольной (зондирования) и поперечной (сканирования) соответственно. Наложение на изображение цветовой карты градиента позволило отчетливо наблюдать области с одинаковыми значениями коэффициентов отражения (в частности, изолинии). Соответствующие 3D-изображения для цилиндра диаметром 45 мм при расположении его в свободном пространстве и за диэлектрической преградой приведены на рис. 1.

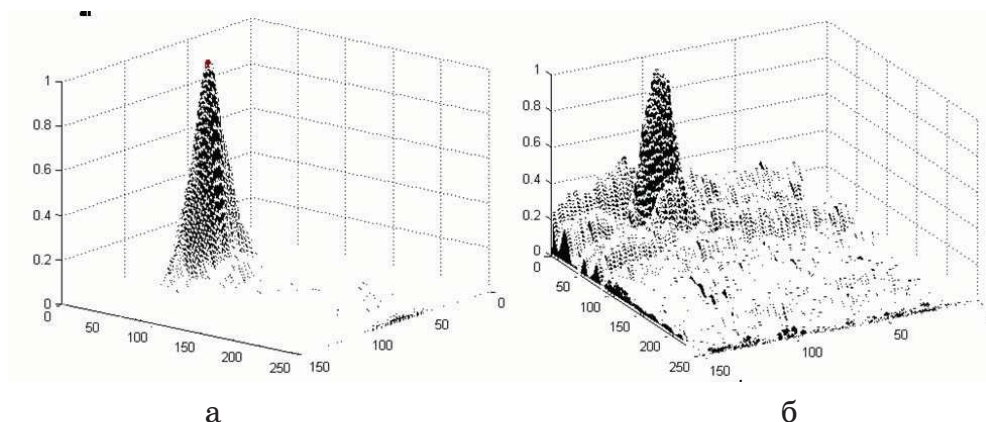


Рисунок 1 - 3D-радиоизображения цилиндра диаметром 45 мм:
а – в свободном пространстве; б – за диэлектрической преградой

При этом должным образом нормированная амплитуда коэффициента отражения представлена яркостью пикселей, а горизонтальная и вертикальная оси изображения соответствовали осям продольной (зондирования) и поперечной (сканирования) соответственно. Наложение на изображение цветовой карты градиента позволило отчетливо наблюдать области с одинаковыми значениями коэффициентов отражения (в частности, изолинии). Оконтуривание достигалось стандартным образом с применением оператора Собеля [6]. Применение принципа голографической записи информации приводило к появлению помимо интересующего изображения ряда артефактов, которые, как правило, имели меньшую амплитуду по сравнению с основным изображением, что позволило в основном их устранить путем применения пороговых фильтров. Примеры оконтурированного изображения для цилиндра диаметром 45 мм приведены на рис. 2.

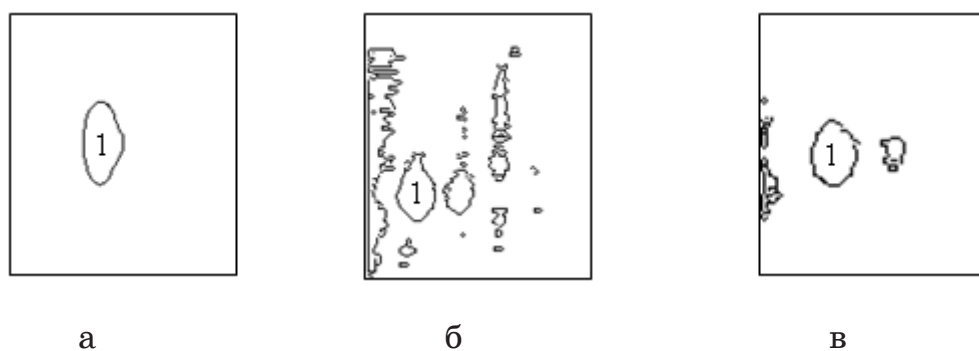


Рисунок 2 - Оконтурированное изображение цилиндра диаметром 45 мм: а – в свободном пространстве; б – за диэлектрической преградой с порогом 0,22; в - за диэлектрической преградой с порогом 0,35; 1 – контур цилиндра

Для использования технологии нейронных сетей значения в матрицах изображений отнормированы так, чтобы максимальное значение яркости было приравнено единице. Затем были сформированы одномерные векторы из отсчетов значений яркости вдоль 8 направлений, выходящих из вершины трехмерной картины радиоизображения. При этом углы между направлениями были выбраны одинаковыми. В каждом направлении отбиралось 10 элементов. Указанное значение подобрано экспериментальным путем, исходя из уровня шума, и может быть изменено. Таким образом, были сформированы векторы одинаковой длины в 81 элемент для всех пяти объектов. Для формирования большего количества векторов, которые использовались для обучения нейронной сети, к элементам исходных векторов

добавлялся гауссовский шум с нулевым средним, среднеквадратическое отклонение для которого составляло 0,01, 0,02, 0,03.

На рис. 3 представлены векторы для всех пяти рассмотренных объектов.

Архитектура нейронной сети представляла собой многослойный перцептрон, который широко применяется для решения задач такого класса. Путем экспериментальной проверки было найдено оптимальное количество слоев, равное трем. Дальнейшее повышение количества слоев не давало заметного улучшения результатов. Входной слой имел количество нейронов, соответствующее длине входных векторов, т.е. 81, количество нейронов в выходном слое было равно 1. Количество нейронов в скрытом слое выбиралось экспериментально. Представленные результаты были получены при 60 нейронах в скрытом слое. В качестве функции активации для входного и скрытого слоев была выбрана логистическая сигмоидальная функция, для выходного слоя – линейная функция активации.

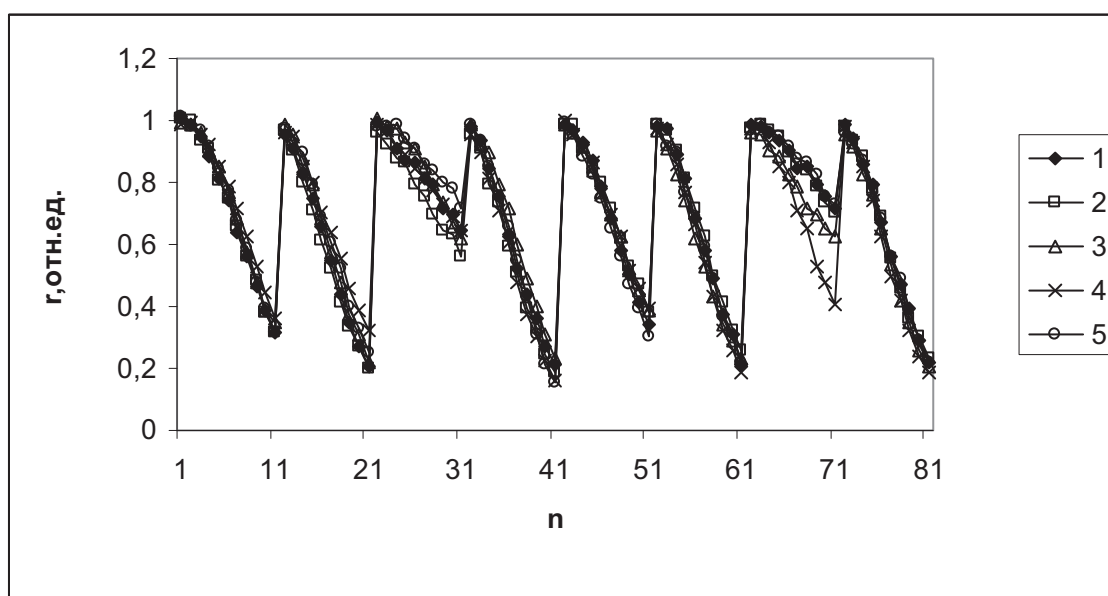


Рисунок 3 - Значения элементов векторов, описывающих объект, в зависимости от номера элемента (n): 1 - для цилиндра диаметром 25 мм; 2 - для цилиндра диаметром 45 мм; 3 - для цилиндра диаметром 75 мм; 4 - для параллелепипеда размером 25×25 мм, ориентированного гранью к антенне; 5 - для параллелепипеда размером 25×25 мм, ориентированного ребром к антенне

Выходной вектор, или целевой, представлял собой вектор, элементы которого отражали "номера", присвоенные каждому объекту – 100, 200, 300 и т.д. Тренировка проводилась на различных количествах

вах обучающей выборки. Установлено, что оптимальным числом является 10 тренировочных наборов, один из которых – это эталонный набор, а 9 – с добавленным шумом.

Тестирование проводилось на наборах с добавлением шума. При добавлении такого же уровня шума, на котором обучалась сеть, происходило стопроцентное распознавание объектов (считалось, что объект распознан, если значение на выходе попадало в диапазон $\pm 50\%$ от значения-номера этого объекта), причем отклонение от ожидаемого значения-номера составляло не более 5%. При двукратном повышении уровня шума распознавание также сохранялось стопроцентным, но отклонение возрастало до 14%. При троекратном повышении уровня шума ошибка составляла около 25% (ошибкой считалось каждое неправильное отнесение к другому объекту). Аналогичным образом были обработаны результаты измерений для объектов, расположенных за преградой. При этом при обучении на изображениях, расположенных за преградой, было также достигнуто успешное распознавание всех объектов, кроме объекта 5, сигнал отражения от которого был малого уровня.

Выводы. Проведенные эксперименты подтвердили возможность применения нейросетевых технологий на основе трехслойного перцептрона для различения простейших электродинамических объектов в виде металлических цилиндров и параллелепипедов, расположенных как в свободном пространстве, так и за диэлектрической преградой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиолокационный контроль металлургических процессов. / В.И.Головко, О.Н.Кукушкин, Н.В.Михайловский и др. – Днепропетровск, Журфонд, 2010. – 428 с.
2. Alekseev, V. V. Microwave introscopy using multifrequency measurements and transversal scan / V. V. Alekseev, O. O. Drobakhin, Ye. V. Kondrat'yev, and D. Yu. Saltykov // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 21, no. 2, 2006. – P. 24-26.
3. Alekseev, V. V. Microwave multifrequency images of electrodynamics objects hidden behind wall/ V. V. Alekseev, O. O. Drobakhin, M. O. Drobakhina, Sherstyuk G.G. // Proc. 8 Int.Conf. on Antenna Theory and Technique, Kyiv, 2011. – P. 303-305.
4. Небабин, В.Г. Методы и техника радиолокационного распознавания / В.Г.Небабин, В.В.Сергеев – М.: Радио и связь, 1984. – 152 с.
5. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс. / С. Хайкин. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
6. Яне., Б.Цифровая обработка изображений / Б. Яне – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.