

СИНТЕЗ СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНЫХ БЛОКОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

С.В. Малый, А.С. Орлова

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: maly@bsu.by

Предложена методика синтеза структуры блоков, обладающих заданными электромагнитными свойствами, на основе метода минимальных автономных блоков, методики усредненных матриц рассеяния и технологий глубокого обучения нейросетей. Приведены результаты синтеза структуры блоков, в состав которых входят кубические металлические частицы.

Ключевые слова: неоднородный блок; усредненная матрица рассеяния; метод минимальных автономных блоков; синтез структуры; технология глубокого обучения нейронных сетей.

ВВЕДЕНИЕ

Использование структурно неоднородных материалов является одним из важнейших направлений разработки и совершенствования электродинамических систем микроволнового и оптического диапазонов. Среди них следует выделить композиты, метаматериалы, метаповерхности, электромагнитные и фотонные кристаллы [1]. Для моделирования электродинамических систем, в состав которых входят неоднородные материалы, перспективным является использование метода минимальных автономных блоков [2] и методики усредненной матрицы рассеяния автономного блока [3]. Усредненная матрица рассеяния неоднородного блока полностью определяется его волновыми размерами, внутренней структурой и материальным составом. Представляет практический интерес решение задачи синтеза внутренней структуры блока по заданной матрице рассеяния с использованием технологий глубокого обучения искусственных нейронных сетей.

ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ НЕОДНОРОДНЫХ БЛОКОВ

Описание электромагнитных свойств композитов и метаматериалов усредненной матрицей рассеяния обладает большими потенциальными возможностями. Усредненная матрица рассеяния трехмерных блоков имеет 12 порядок и является альтернативой описанию неоднородных сред эффективными материальными параметрами в скалярной или тензорной форме. Важной особенностью усредненной матрицы рассеяния является ее локальный характер, т.е. она является характеристикой одиночного блока, а не усреднения по большому фрагменту материала. Задача синтеза

композитов и метаматериалов заключается в нахождении структуры пространственного распределения материалов из заданного набора с учетом схемы декомпозиции макроблоков на систему однородных блоков.

Рассмотрим методику синтеза внутренней структуры неоднородного блока с использованием технологии глубокого обучения. Для простоты рассмотрим макроблок, содержащий $5 \times 5 \times 5$ внутренних блоков. В простейшем случае в состав неоднородного макроблока могут входить два типа материалов: идеальный проводник и вакуум, причем наличие металлических блоков возможно только в центральной части макроблока с размерами $3 \times 3 \times 3$ блока.

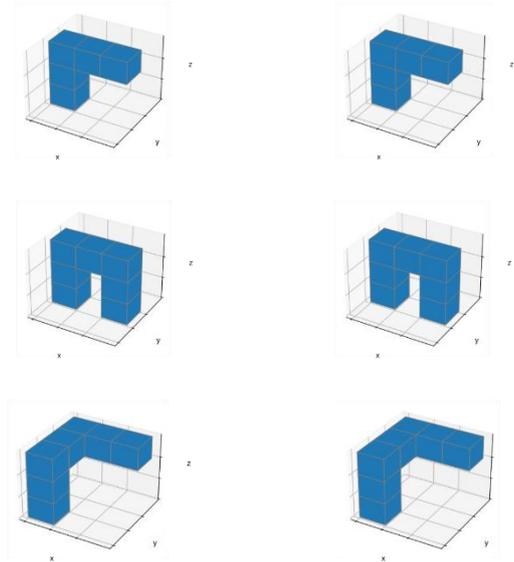
Исходной информацией для синтеза структурно неоднородного макроблока является усредненная матрица рассеяния. Синтез макроблока заключается в нахождении внутренней структуры блока, для которой усредненная матрица рассеяния наиболее близка к целевой в заданной метрике.

Для реализации процедуры синтеза использована полносвязная нейронная сеть, состоящая из входного, выходного и двух скрытых слоев, содержащих 256 и 128 нейронов соответственно. Функция активации для входного слоя – “ReLU”, для выходного слоя – “Sigmoid”. Метод оптимизации нейронной сети – “RMSprop”. Функция потерь – бинарная кросс-энтропия. Размерность входного слоя равна 288, что соответствует суммарному количеству действительных и мнимых частей элементов матрицы рассеяния. Размерность выходного слоя равна 27, что соответствует количеству блоков в варьируемой части макроблока.

Объем выборки данных, на которых проводилось обучение сети, составляло 470000 вариантов, причем 80 % этих данных использовались для обучения, а 20 % – для оценки качества обучения сети. Количество эпох обучения равно 50.

Для формирования обучающей выборки были рассчитаны усредненные матрицы рассеяния для различных вариантов распределения металлических кубиков в варьируемой области макроблока, количество которых и распределение задавалось генераторами случайных чисел. Расчет усредненной матрицы включал два этапа: определение матрицы рассеяния многоканального блока, порядок которой равен 300; подключение к каждой грани макроблока блока перехода от многоканального представления электромагнитного поля к двухмодовому. Порядок усредненной матрицы рассеяния равен 12. Внутренние блоки имели кубическую форму с размером 1 мм. Размер макроблока равен 5 мм. Расчеты усредненных матриц рассеяния проводились на длине волны 50 мм.

На рисунке представлены результаты тестирования обученной нейронной сети в виде рисунков с синтезированной структурой центральной части макроблоков (слева) и тестовой (справа). Блоки, заполненные металлом, выделены синим цветом.



Распределение металлических блоков в макроблоке

Анализ результатов демонстрирует возможность использования разработанной нейронной сети для синтеза внутренней структуры макроблоков по заданной усредненной матрице рассеяния. При этом суммарный объем вариантов в обучающей и тестовой выборке составил 0,35% от максимально возможного числа вариантов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлена принципиальная возможность использования технологии глубокого обучения для синтеза внутренней структуры блоков по заданной усредненной матрице рассеяния, характеризующей их электромагнитные свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Engheta Nader and Ziolkowski Richard W.* Metamaterials: physics and engineering explorations. Wiley. 2006.
2. *Никольский В.В., Никольская Т.И.* Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. М.: Наука. 1983. С. 304.
3. *Maly S.V.* Homogenization of metamaterials on the basis of average scattering matrixes// Abstracts on International conference «DAYS ON DIFFRACTION'2010». Saint Petersburg, Russia. June 8–11, 2010. P. 114.