

# РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Д.А. Назаров

*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН*

Россия, 690041, Владивосток, Радио 5

E-mail: [nazardim@iacp.dvo.ru](mailto:nazardim@iacp.dvo.ru)

**Ключевые слова:** проектирование, параметрический синтез, область работоспособности, нейронные сети

Работа посвящена задаче описания характеристик области допустимой вариации параметров элементов (области работоспособности) в рамках задачи оптимального параметрического синтеза сложных технических систем с учетом требований надежности. Рассматривается нейросетевой подход к описанию области работоспособности. В рамках этого подхода предлагается использовать сеть искусственных нейронов с радиально-базисными активационными функциями.

## Введение

Задача параметрического синтеза, возникающая при проектировании сложных технических систем с учетом требований надежности, связана с исследованием области допустимой вариации значений параметров элементов. Эта область представляет собой множество точек пространства значений параметров, в которых качество функционирования системы удовлетворяет требованиям, и называется областью работоспособности (ОР). Основной целью исследования этой области является выбор значений номиналов параметров, обеспечивающих безотказное функционирование системы при наличии дестабилизирующих факторов внешней природы и внутренних процессов, вызывающих отклонения этих параметров от их расчетных значений [1].

Проблема описания этой области заключается в отсутствии явных аналитических выражений, описывающих связь выходных характеристик системы с параметрами ее элементов. Это связано с тем, что большинство достаточно сложных систем описываются алгоритмически, с помощью имитационных моделей. Наиболее распространенной процедурой использования ОР при проектировании является проверка принадлежности вектора значений параметров элементов этой области. Альтернативой такой проверке является расчет выходных характеристик и проверка их соответствия требованиям, что требует больших вычислительных затрат.

В данном докладе предлагается подход к описанию ОР с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС), реализующий функционал проверки нахождения произвольного вектора параметров внутри ОР. В качестве ИНС предлагается использовать сеть радиально-базисных нейронов. Структура сети будет описана далее.

# 1. Применение радиально-базисной ИНС к описанию ОР

## 1.1. Постановка задачи построения ОР

*Выходные параметры* системы представляют собой количественные выходные характеристики системы, интересующие потребителя, и задаются  $m$ -вектором (1):

$$\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m). \quad (1)$$

Параметры элементов системы задаются  $n$ -вектором (2) и называются *внутренними параметрами* системы:

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (2)$$

Математическая модель  $\mathbf{y} = \mathbf{y}(\mathbf{x})$  задает связь выходных параметров (1) с внутренними в виде зависимостей (3):

$$y_i = y_i(\mathbf{x}), \quad \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Как говорилось выше, эти зависимости часто задаются алгоритмически, что обуславливает доступность только поточечного исследования пространства значений параметров - многомерного зондирования.

На внутренние и выходные параметры накладываются ограничения. Для внутренних параметров они представляют собой интервалы допусков (4), как правило, установленные производителем:

$$x_{i_{min}} \leq x_i \leq x_{i_{max}}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Ограничения на выходные параметры представляют собой требования к проектируемому устройству и также задаются в виде интервалов (5)

$$y_{i_{min}} \leq y_i(\mathbf{x}) \leq y_{i_{max}}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Ограничения (5) называются *условиями работоспособности*. Проектируемое устройство считается работоспособным, если выходные характеристики удовлетворяют условиям (5).

Условия работоспособности определяют в пространстве значений внутренних параметров область, в каждой точке которой они выполняются. Эта область называется *областью работоспособности* и определяется выражением (6).

$$\mathbb{D}_x = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \mid y_{i_{min}} \leq y_i(\mathbf{x}) \leq y_{i_{max}}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, m\}. \quad (6)$$

Задача построения ОР заключается в нахождении фигуры известной конфигурации, являющейся аппроксимацией неизвестной области  $\mathbb{D}_x$  для заданной модели системы (3) и при заданных допусках (4), условиях работоспособности (5). Данные о конфигурации ОР позволяют оценивать чувствительность системы к изменениям внутренних параметров, выбирать оптимальные в определенном смысле значения номиналов с учетом возможных параметрических возмущений. При этом получение этих данных связано с рядом трудностей. Во-первых, как уже было сказано, модель системы (3) очень редко задается аналитически, и доступно только поточечное исследование области значений параметров. Во-вторых, аппроксимация многомерной фигуры требует больших вычислительных ресурсов и емких запоминающих устройств для хранения данных [2].

Большинство задач, использующих данные ОР сводятся к проверке нахождения некоторой реализации вектора параметров внутри области  $\mathbf{x}^* \in \mathbb{D}_x$ . Большинство способов представления ОР достаточно громоздки, содержат большие объемы данных. В данной работе предлагается способ решения задачи проверки принадлежности вектора внутренних параметров ОР, основанный на нейросетевом подходе. В качестве элементов ИНС используются нейроны с радиально-базисной активационной функцией, посредством которой нейрон реагирует на расстояние от произвольно заданной точки до определенного центра [3].

## 1.2. Радиально-базисная ИНС

Для решения задачи определения нахождения вектора параметров внутри ОР используемая для этого ИНС должна иметь  $n$  входов и один бинарный выход со значениями из множества  $\{0, 1\}$  (рис.1).

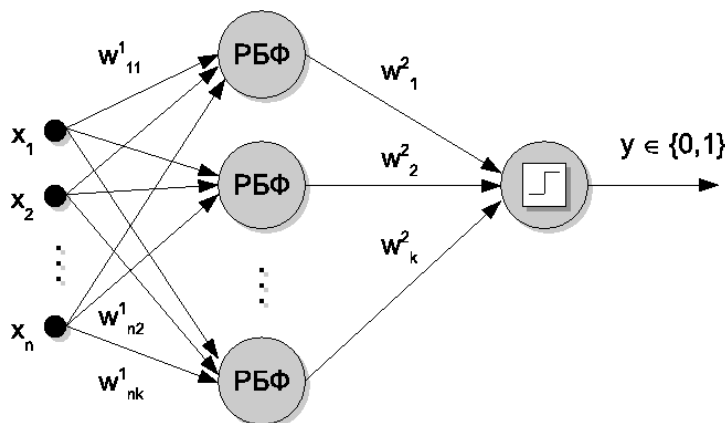
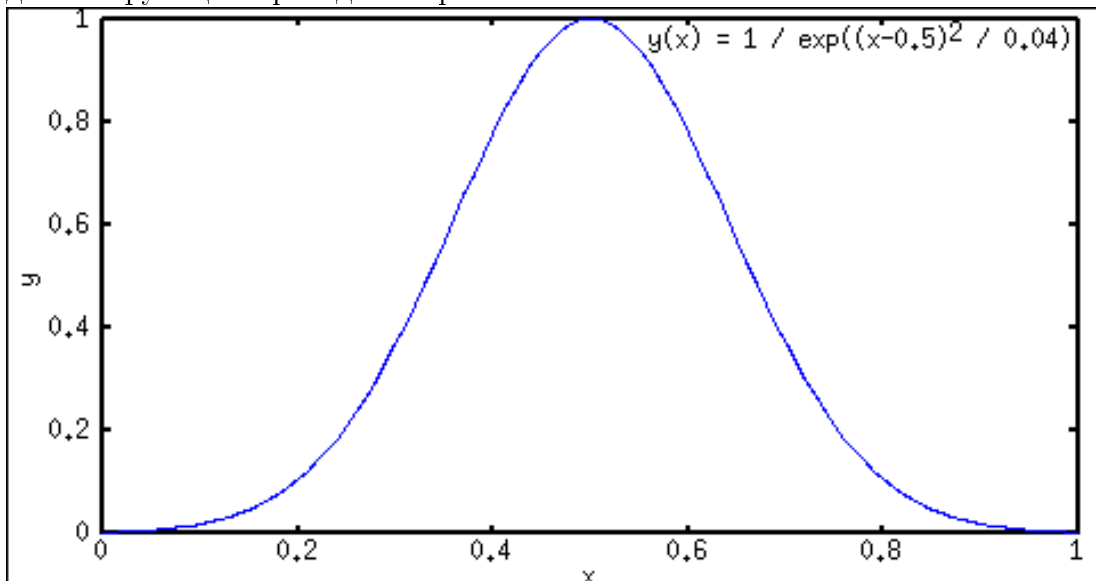


Рис. 1. Структура радиально-базисной ИНС

Входными сигналами являются значения внутренних параметров (2). Входные сигналы подаются на скрытый слой ИНС, состоящий из нейронов с радиально-базисной активационной функцией (РБФ). Радиально-базисная функция имеет следующий вид:

$$y = e^{-\frac{r^2}{a^2}}, \quad (7)$$

где  $r = \|\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}\|$  - расстояние от произвольной точки  $\mathbf{x}$  пространства параметров до фиксированной точки  $\hat{\mathbf{x}}$ , привязанной к данному нейрону. Параметр  $a$  отражает ширину охвата значений вокруг заданного центра. Пример графика данной функции приведен на рис.2.



**Рис. 2.** График радиально-базисной функции

В качестве центров каждого из радиально-базисных нейронов предлагается задать узлы регулярной сетки внутри области, ограниченной допусками (4). В качестве выходного элемента рассматриваемой ИНС используется линейный нейрон с функцией активации типа единичного скачка с заданным порогом. Аргументом этой функции является линейная комбинация выходов нейронов скрытого слоя (радиально-базисных нейронов).

В докладе более подробно рассматривается использование радиально-базисных нейронных сетей для представления ОР. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов ДВО РАН 12-III-B-03-023 и 12-I-OЭММПУ-01 в рамках Программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН № 14 «Анализ и оптимизация функционирования систем многоуровневого, интеллектуального и децентрализованного управления в условиях неопределенности».

## Список литературы

1. Абрамов О.В. 1. Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности. - М.: Наука, 1992.
2. Назаров Д.А. Использование областей работоспособности для оптимального выбора номиналов параметров // Информатика и системы управления. - 2011. - №2(28). - С. 59 — 69.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского Д.И. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2002.