

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Дубров В. И.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», Новочеркасск, Россия (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: rektorat@npi-tu.ru

Описаны этапы создания универсального интеллектуального алгоритма диагностики на основе нейронных сетей и показано его применение для диагностирования высоковольтного коммутационного оборудования. Основное внимание в статье уделяется последнему этапу разработки алгоритма диагностики, который заключается в оптимизации таких параметров нейронной сети, как количество нейронов в слое, количество скрытых слоев в нейронной сети, параметр скорости обучения сети, количество эпох (итераций) при обучении сети. Приведены следующие этапы разработки: алгоритм диагностики, методы обработки информационного сигнала, решение оптимизационной задачи. Представлен разработанный алгоритм выбора информативного диапазона из избыточного потока измерительных данных и оптимизационные возможности генетических алгоритмов, примененные для оптимизации параметров нейронной сети диагностической системы. Описанные алгоритмы смоделированы в среде Octave, в качестве объекта диагностирования был выбран высоковольтный выключатель типа МКП 110М.

Ключевые слова: высоковольтное коммутационное оборудование, алгоритмы диагностирования, измерение параметров движения, нейронные сети, генетические алгоритмы.

PARAMETER OPTIMIZATION OF THE INTELLIGENCE DIAGNOSTIC SYSTEM OF HIGH-VOLTAGE SWITCHES

Dubrov V. I.

South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russia (346428, Novocherkassk, street Prosvescheniya, 132), e-mail: rektorat@npi-tu.ru

It describes the steps for creating the universal intelligent diagnostic algorithm based on neural networks and show its application for the diagnosis of high-voltage switchgear. The main attention is paid to the final stage of the development of diagnostic algorithm, which is to optimize the neural network parameters such as the number of neurons in the layer, the number of hidden layers in the neural network, the speed of network training, the number of epochs (iterations) for network learning. It contains the following stages of development: a diagnostic algorithm, methods of information signal processing, the solution of optimization problems. Presents the developed algorithm of informative range selecting from excess measurement data flow and optimization capabilities of genetic algorithms applied to optimize the neural network of diagnostic system. The algorithms are simulated in the environment of Octave, high-voltage switch of type MCP 110M was chosen as the object of diagnosis.

Key words: high-voltage switchgear, algorithms for diagnosing, measurement of motion parameters, neural networks, genetic algorithms.

Введение

Как известно, задача распознавания образов заключается в разделении исходных данных по определенным классам с помощью выделения существенных признаков, характеризующих эти данные, из общей массы несущественных данных [1].

Исходя из вышеописанного, задачу диагностики можно описать как частный случай теории распознавания образов. В простейшем случае исходные данные разделяются на два класса: исправное и неисправное устройство. В более сложных системах количество классов

увеличивается, поскольку система должна не только определять наличие неисправности, но и идентифицировать эту неисправность. Пример классов может быть следующий: «исправен», «неисправна часть А», «неисправна часть Б».

Одним из вариантов решения поставленной задачи являются искусственные нейронные сети (ИНС). В качестве плюсов использования ИНС следует указать унифицированный подход к решению широкого класса задач, решение задач при неизвестных закономерностях, устойчивость к шумам во входных данных, адаптирование к изменениям окружающей среды.

Описанные преимущества позволяют унифицированным образом строить диагностические системы сложных объектов, устойчивых к возможным возмущениям (измерительному шуму), отказам и обладающие универсальными аппроксимирующими свойствами.

Цель работы: решение задачи оптимизации предложенного ранее автором интеллектуального алгоритма диагностики высоковольтных выключателей.

Материал и методы исследований: методы оптимизации, генетические алгоритмы, нейронные сети, математического моделирования с использованием свободно распространяемой системы для математических вычислений Octave.

Результаты и обсуждение

Разработка интеллектуальной системы диагностики производилась для высоковольтных выключателей (ВВ). Существующие диагностические приборы ВВ вычисляют их скоростную характеристику как функцию от хода контактов выключателя (перемещения) или от времени. При регулировке механизма выключателя и оценке его работы в качестве координаты используют ход подвижного контакта или траверсы. Пример такой характеристики изображен на рисунке 1 [3].

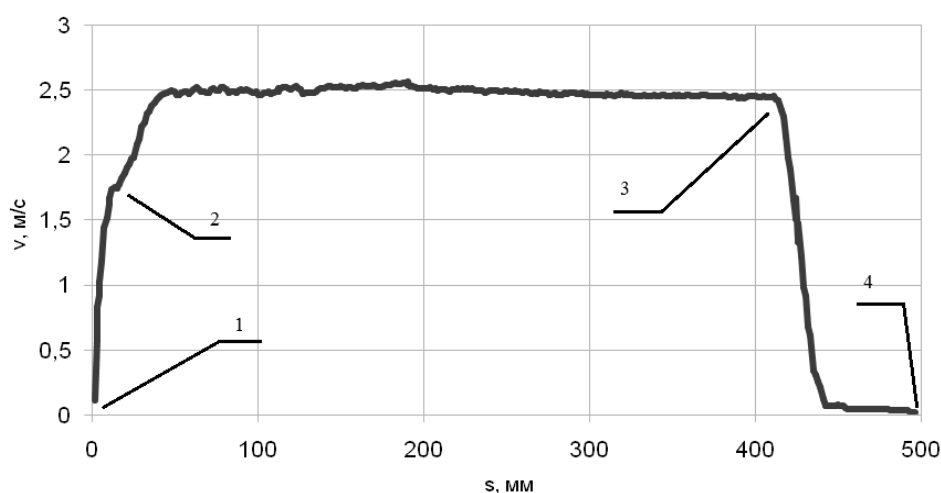


Рис. 1. График функции $v(s)$ процесса отключения исправного выключателя типа МКП-110М

Из графика на рисунке 1 специалист может оценить работу пружин контактов, пружин дугогасительных устройств, отключающих пружин, отсутствие затираний в направляющем устройстве, работу масляного буфера [6]. Для этого график работы выключателя разбивается на участки по происходящим в них процессам, таким как запуск команды «отключение» приводом, разгон штанги с траверсой (участок 1–3), размыкание контактов (точка 2), достижение штангой масляного буфера (точка 3), остановка штанги с траверсой под действием масляного буфера (участок 3–4) [6]. Диагностику ВВ по представленным выше функциям процесса отключения выключателя трудно автоматизировать, поэтому для выделения более четких информативных признаков исправных и неисправных выключателей применяется аппарат вейвлет-анализа. Причем, перед использованием обработки скоростной характеристики ВВ непрерывным вейвлет-преобразованием для получения его вейвлет-спектра используется цифровая фильтрация сигнала с целью удаления из исходной функции огибающей сигнала. Данный процесс позволяет получить четкие граничные значения, отличающие исправные и неисправные выключатели [3].

Для решения задачи обучения системы диагностики с возможностью дальнейшего непрерывного ее совершенствования предложен алгоритм, который заключается в разбиении процесса диагностирования на два этапа [2]. Первый этап: диагностика с использованием аппарата нечеткой логики исходных скоростных характеристик ВВ. Второй этап: диагностика на основе результатов более сложного метода вейвлет-анализа. При этом переход ко второму этапу диагностирования осуществляется только после принятия решения первым этапом диагностики о том, что объект является неисправным. Затем с помощью вейвлет-анализа происходит обработка сигнала и второй этап диагностики с использованием нейронной сети (НС). Если второй этап диагностики подтверждает результат первого этапа, то выдается предупреждающий сигнал и производится идентификация неисправности. Если же результаты второго этапа диагностики отличаются от первого, то приоритет в данном случае отдается этапу № 2, а в этапе № 1 корректируются нечеткие правила. Коррекция нечетких правил необходима для усовершенствования первого этапа диагностики, в котором не производятся вычисления вейвлет-спектра сигнала, а значит, требуется меньше вычислительных ресурсов. Чем точнее будет диагностировать первый этап, тем в дальнейшем меньше будет вызываться более затратный второй этап диагностики.

В процессе обучения нейронной сети по вейвлет-спектру ВВ возникает явление под названием переобучение нейронной сети. Оно характеризуется уменьшением ошибки на обучающих данных, но ее увеличением на тестовых данных, это значит, что сеть перестала выполнять обобщение и просто «запоминает» обучающие данные.

Чтобы избежать переобучения нейронной сети, предлагается алгоритм выделения наиболее информативного диапазона частот из вейвлет-спектра (рисунок 2).

Суть иллюстрируемого на рисунке 2 метода выбора информативного диапазона частот вейвлет-спектра заключается в обучении для каждого частотного диапазона вейвлет-спектра информационного сигнала нейронной сети и вычислении для каждой нейронной сети ее точности при обучении (al) и при тестировании (at). Затем вводится коэффициент k информативности нейронной сети, который рассчитывается как модуль разности полученных соответствующих значений (al) и (at) каждой нейронной сети. По данным коэффициентам в дальнейшем и принимается решение о необходимости использования данного частотного диапазона в обучении нейронной сети.

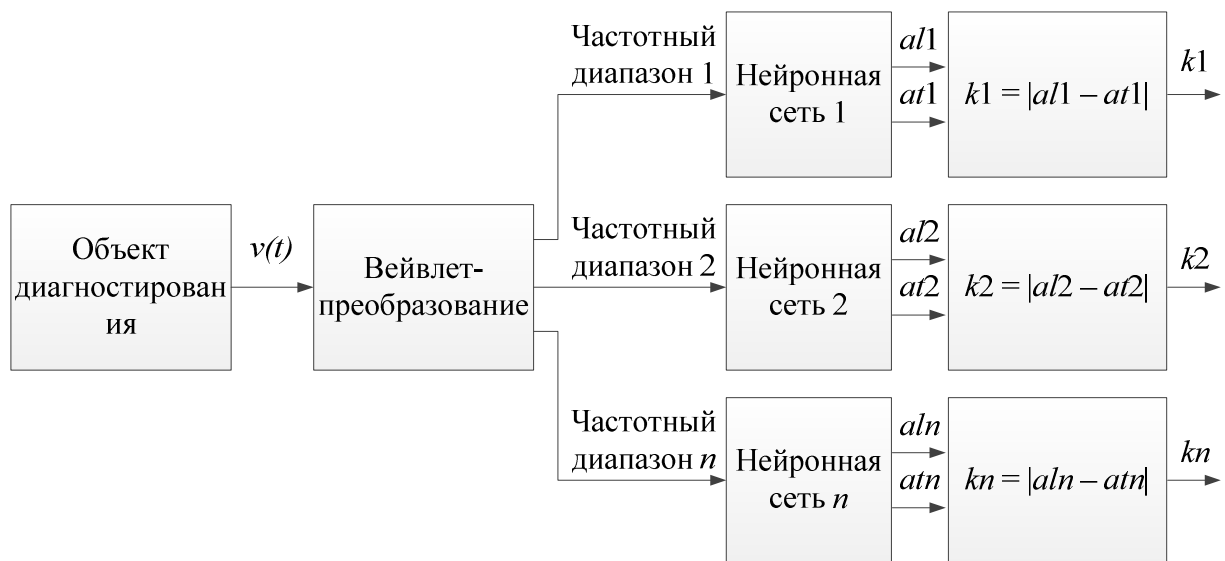


Рис. 2. Алгоритм выбора информативного диапазона из вейвлет-спектра по введенному параметру k

Преимущества применения данного алгоритма можно увидеть на рисунке 3, где представлены зависимости точности (параметр, являющийся дополнением ошибки диагностирования до 100 %) нейронной сети от параметров скорости обучения λ и количество эпох обучения. Графики слева отображают зависимости точностей при обучении и при тестировании до применения описанного выше алгоритма выбора информативного диапазона, справа – после применения данного алгоритма.

Как видно из графиков, при различных комбинациях параметров НС (скорость обучения, количество эпох) увеличилась ее адекватность, т.е. графики точности НС при обучении и при тестировании перестали отличаться и стали практически идентичными.

Одновременно с этим увеличилась и точность при тестировании до 90 % по сравнению с алгоритмом [2], который обеспечивал точность, не превышающую 80 %.

Вместе с увеличением точности нейронной сети также уменьшился размер данных для обучения с 40 частотных диапазонов вейвлет-спектра до 11, что существенно ускоряет процесс обучения нейронной сети.

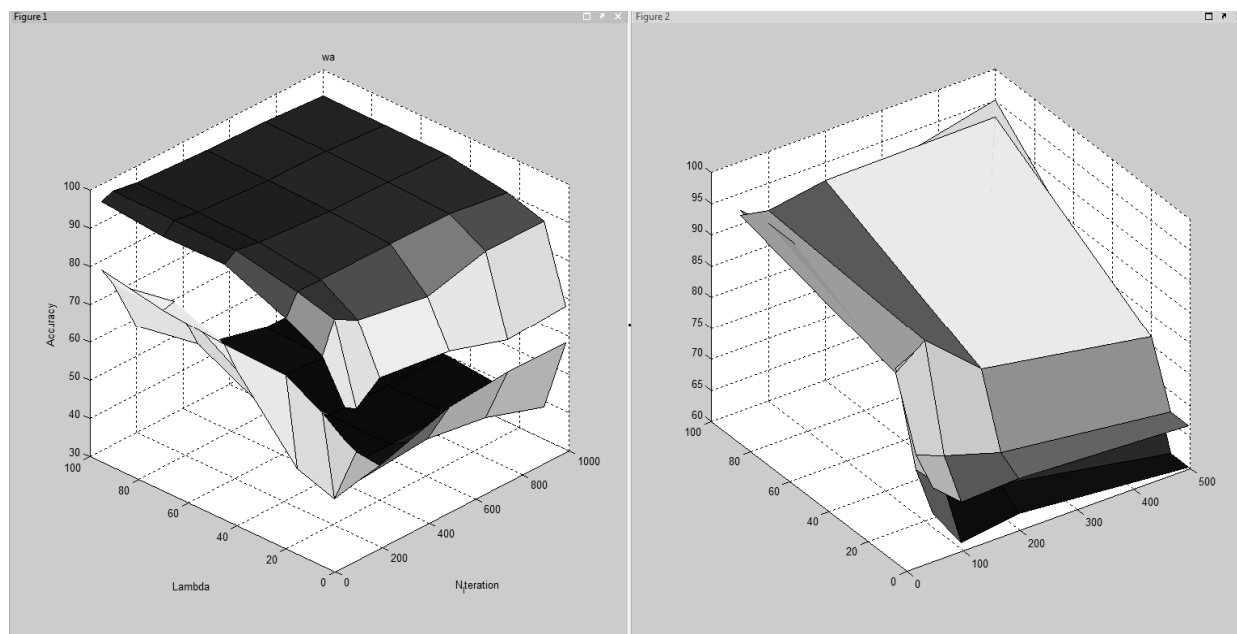


Рис. 3. Различия в точностях нейронной сети при обучении и при тестировании до применения алгоритма выбора информативного диапазона (слева) и после (справа)

Таким образом, предложенный алгоритм выбора информативного диапазона вейвлет-спектра скоростной характеристики ВВ позволяет решить проблему избыточности входных данных при разработке интеллектуальной системы диагностики высоковольтных выключателей.

Оптимизационная задача при разработке интеллектуальной системы диагностики заключается в нахождении таких значений параметров нейронной сети (скорость обучения, количество эпох, количество скрытых нейронных слоев и нейронов в каждом слое НС), при которых функция ошибки нейронной сети (функция ошибки диагностирования) сводится к минимуму.

Для решения этой оптимизационной задачи, т.е. вычисления оптимальных параметров нейронной сети, используются генетические алгоритмы (ГА). Данный выбор обусловлен следующими преимуществами генетических алгоритмов перед стандартными методами оптимизации [4]:

- осуществляется поиск решения исходя не из единственной точки, а из их некоторой популяции;
- используется только целевая функция, а не ее производные;
- применяются вероятностные, а не детерминированные правила выбора.

Исходя из перечисленных преимуществ вытекает самое главное, применительно к задаче

оптимизации нейронной сети: генетические алгоритмы могут быть использованы в задачах с изменяющейся средой [7]. Важность этого свойства ГА обусловлена изменчивостью нейронных сетей: при одних и тех же параметрах и входных значениях искусственная нейронная сеть может выдавать различные выходные значения, находящиеся в определенном диапазоне.

В качестве целевой функции $f(x_1, x_2, \dots, x_i)$ выбрана функция построения нейронной сети с последующим вычислением ошибки нейронной сети. Параметрами оптимизации x_1, x_2, \dots, x_i выступали количество нейронов в слое, количество скрытых слоев в нейронной сети, параметр скорости обучения сети, количество эпох (итераций) при обучении сети.

Поскольку при различных значениях количества скрытых слоев в нейронной сети изменяется общее количество параметров оптимизации (в нейронной сети с одним скрытым слоем – 1 параметр «количество нейронов в слое», в нейронной сети с двумя скрытыми слоями – 2 параметра «количество нейронов в слое» и т.д.), то этот параметр мы будем выбирать сравнением полученных оптимальных значений после применения генетического алгоритма.

Параметры применяемого ГА следующие:

- размер популяции равен 20;
- кроссовер случайный (разбросанный);
- мутация не используется;
- количество поколений 20.

Заданные изначальные диапазоны поиска (ограничения) значений параметров и найденные оптимальные значения этих параметров алгоритма диагностики (нейронной сети), при применении генетического алгоритма с заданными параметрами, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Оптимизируемые параметры					Выходное значение функции
Количество эпох (итераций) при обучении НС	Параметр скорости обучения НС	Количество нейронов в первом слое НС	Количество нейронов в втором слое НС	Количество нейронов в третьем слое НС	Ошибка диагностирования, %
Сеть с одним скрытым слоем					
Заданный начальный диапазон значений					
20–2000	1–200	5–2000	-	-	
Оптимальные значения параметров					
20	8	558	-	-	2,8
Сеть с двумя скрытыми слоями					
Заданный начальный диапазон значений					

20–2000	1-200	500- 2000	4–1000	-	
Оптимальные значения параметров					
380	3	838	588	-	0,4
Сеть с тремя скрытыми слоями					
Заданный начальный диапазон значений					
20–2000	1–200	1000– 2000	500– 1500	3–1000	
Оптимальные значения параметров					
214	2	1934	777	384	0,8

В результате применения ГА были найдены оптимальные значения НС диагностической системы и выяснено, что наилучший результат при распознавании неисправного ВВ по вейвлет-спектру дает НС с 2 скрытыми слоями.

Описанный в статье метод диагностики и методы его оптимизации (с помощью алгоритма выбора информативного диапазона и с помощью генетических алгоритмов) могут быть применимы к различным типам данных, различным процессам и устройством. Это их свойство обуславливают нейронные сети, которые в процессе обучения подстраиваются под различные диагностические признаки. Применение в дальнейшем созданного алгоритма выбора информативного диапазона и генетического алгоритма позволяют оптимизировать параметры алгоритма под конкретную задачу.

Дальнейшее усовершенствование и разработка диагностического алгоритма заключается в разработке нечетких правил первого этапа диагностики и проработке автоматического режима настройки нечетких правил, применении нейронных сетей на втором этапе диагностики с количеством выходов большим 2 для включения возможности локализации неисправности с помощью нейронной сети. Также в дальнейших исследованиях разработанный алгоритм диагностики будет применен в альтернативной области диагностирования для экспериментального подтверждения его универсальности.

Выводы

1. При решении задачи идентификации зарождающихся дефектов высоковольтного коммутационного оборудования целесообразно использовать процесс двухэтапной диагностики, основанный на комплексном использовании нейронных сетей, нечеткой логики и вейвлет-спектральной обработки сигналов.

2. Для эффективного применения нейронных сетей в комбинации с таким современным методом обработки сигналов, как вейвлет-анализ, предложен алгоритм выбора информативного диапазона вейвлет-спектра, решающий проблему избыточности входных данных.

3. В качестве аппарата оптимизации таких параметров нейронной сети, как скорость обучения НС, количество эпох обучения НС, количество нейронов в скрытом слое НС, эффективно применять генетические алгоритмы.

4. С помощью ГА ошибка НС при диагностировании высоковольтных выключателей уменьшилась с 10 % до 0,4 %, что является хорошим показателем для системы диагностики на основе НС.

Список литературы

1. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
2. Дубров В. И., Кириевский В. Е. Двухэтапный алгоритм диагностики высоковольтных выключателей по скоростным характеристикам с использованием методов спектрального анализа // Контроль. Диагностика. – 2012. - № 10. – С. 43-51.
3. Дубров В. И., Кириевский В. Е. Применение вейвлет-анализа для диагностики высоковольтных выключателей по скоростным характеристикам // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 7. – С. 22-29.
4. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – С. 432.
5. Ключев В. В., Пархоменко П. П., Абрамчук В. Е. и др. Технические средства диагностирования: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
6. Чернышев Н. А., Ракевич А. Л. Аппаратура и метод раннего обнаружения дефектов в механизмах высоковольтных выключателей // Электрические станции. – 2004. – № 11.
7. Poli, R., Langdon, W. B., McPhee, N. F. A Field Guide to Genetic Programming. – Lulu.com, freely available from the internet, 2008.

Рецензенты:

Горбатенко Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, первый проректор, ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», г. Новочеркасск.

Гречихин Валерий Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Информационные и измерительные системы и технологии", ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», г. Новочеркасск.