

КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Золотов А.А., Петряшин И.Е., ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

***Аннотация.** В работе анализируется возможность распознавания структуры сигнала с помощью методов машинного обучения, в частности нейронных сетей. Рассмотрены базовые принципы построения нейронных сетей. Предложена архитектура нейронной сети, подходящая для классификации сигналов.*

***Ключевые слова:** нейронная сеть, структурный анализ.*

Введение

В последнее время в энергетике получили распространение методы машинного обучения и нейронных сетей [1]. Распространяя методы машинного обучения на структурный анализ [2,3] можно добиться более эффективного применения алгоритмов защит за счет интеграции алгоритмов распознавания сигнала и алгоритма работы защиты.

В микропроцессорных защитах основным инструментом цифровой обработки сигналов является дискретный фильтр Фурье, который позволяет с достаточной точностью определить уровень той или иной гармоники. Однако, данный способ имеет ряд недостатков, например, большую погрешность при отклонении частоты сигнала от номинальной частоты фильтра Фурье или при наличии в исходном сигнале аperiodической составляющей.

Целью данной работы является оценка возможности цифровой обработки сигналов с помощью нейронных сетей. В частности, рассматривается задача определения структуры сигнала.

Задача определения структуры сигнала рассматривается как задача классификации, и количество классов равно количеству видов генерируемых сигналов.

Описание нейронной сети

Под искусственным нейроном понимается математическая модель естественного нейрона, содержащая функцию активации. Совокупность нейронов и связей между ними (синапсов) представляет собой нейронную сеть. Следует отметить, что

каждый синапс имеет свой весовой коэффициент, который «усиливает» значение на входе нейрона.

Наиболее распространенной архитектурой нейронной сети является полносвязная. Ее условная схема представлена на рис. 1. Здесь X – входной слой, H – скрытый слой, Y – выходной слой, w_{ij} – весовой коэффициент синапса.

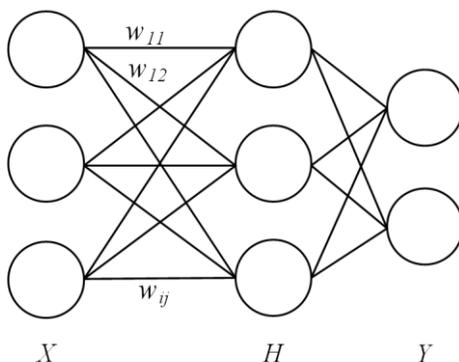


Рис. 1. Условная схема нейронной сети

Для обучения нейронной сети необходима обучающая выборка, представляющая собой совокупность векторов признаков и векторов ответов.

Обучение нейронной сети представляет собой подбор весовых коэффициентов синапсов таким образом, чтобы суммарная разница между векторами на выходе нейронной сети и соответствующими значениями векторов ответов была минимальна.

Базовым методом определения весовых коэффициентов является метод обратного распространения ошибки (backpropagation) [4].

Генерация обучающей выборки

Для корректного обучения нейронной сети необходимо иметь репрезентативную обучающую выборку. Важно, чтобы размер обучающих выборок, относящихся к разным классам, был одинаковым.

Так как основной целью данной работы является оценка возможности использования нейронной сети для структурного

анализа электрических сигналов, обучающая выборка генерировалась на основе наиболее встречающихся сигналов:

- синусоида основной гармоники: отражает нормальный установившейся режим;
- синусоида основной гармоники с присутствием аперiodической составляющей: отражает переходный процесс;
- синусоида основной гармоники с содержанием третьей гармоники: отражает процессы в системах, содержащих нелинейные элементы;
- синусоида основной гармоники с содержанием аперiodической составляющей и составляющей третьей гармоники: отражает переходные процессы в цепях с нелинейными элементами;
- затухающая синусоида основной гармоники: отражает свободные затухающие процессы.

Для каждого вида сигнала генерируется вектор ответов. Рассматриваемым сигналам соответствуют следующие векторы ответов: $[1; 0; 0; 0; 0]$, $[0; 1; 0; 0; 0]$, $[0; 0; 1; 0; 0]$, $[0; 0; 0; 1; 0]$, $[0; 0; 0; 0; 1]$.

Обучающая выборка включает в себя по 100000 сигналов каждого вида. Генерация параметров сигналов выполняется случайным образом. Аналогичным образом формируется тестовая выборка.

Архитектура используемой нейронной сети

Для решения поставленной задачи была принята архитектура нейронной сети, соответствующая рис 1. Она имеет один входной слой, содержащий 12 нейронов, что соответствует отсчетам сигнала; скрытый слой, содержащий 12 нейронов; выходной слой, содержащий 5 нейронов, соответствующих каждому из рассматриваемых классов.

Для нейронов скрытого слоя была выбрана функция активации ReLu. Для нейронов выходного слоя функцией активации является Softmax. Данная функция нормирует вектор ответов таким образом, чтобы сумма элементов вектора ответов была равна единице. С указанной функцией активации оптимально применять такую функцию потерь как категориальная кроссэнтропия (categorical crossentropy). В качестве оптимизатора нейронной сети был принят алгоритм AdaDelta, который меняет

шаг обучения в зависимости от значения градиента на последних эпохах обучения.

Обучение происходило 1000 эпох, размер батча (batch size) равен 1000.

На обучающей выборке процент правильно распознанных сигналов получился 99,14. На тестовой выборке процент правильно распознанных сигналов 99,07.

Ошибка связана с достаточно простой архитектурой нейронной сети. Также свой вклад в ошибку вносит случайный принцип формирования обучающей выборки.

Вывод

Задача определения структуры сигнала рассмотрена как задача классификации. Для ее решения предложена нейросетевая архитектура.

Случайный принцип формирования обучающей выборки не позволяет репрезентативно описать сигналы, наблюдаемые в электроэнергетической системе. В дальнейших исследованиях целесообразно генерировать обучающую выборку с равномерно заполняющими пространство параметров сигналами.

Результаты анализа показали, что нейронные сети способны с высокой точностью классифицировать сигналы, свойственные электроэнергетической системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Степанова Д.А.* Задачи классификации и глубокого обучения в релейной защите цифровой электроэнергетики / Д.А. Степанова, В.А. Наумов, В.И. Антонов // Сборник докладов научно-технической конференции молодых специалистов : Материалы конференции в рамках форума РЕЛАВЭКСПО-2019, Чебоксары, 23–26 апреля 2019 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2019. – С. 116–122.

2. *Антонов В.И.* Адаптивный структурный анализ электрических сигналов: теория и ее приложения в интеллектуальной электроэнергетике / В.И. Антонов. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2018. – 334 с. – ISBN 9785767725717.

3. *Антонов В.И.* Адаптивный структурный анализ электрических сигналов: теория для инженера / В.И. Антонов [и др.] // Релейная защита и автоматизация. – 2019. – №2. – С. 18–28.

4. Shekhar S., Xiong H. Artificial Neural Network. In: Shekhar S., Xiong H. (eds) Encyclopedia of GIS. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_72.

Авторы:

Золотов Александр Артурович, инженер департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», магистрант ЧГУ им. И.Н. Ульянова по направлению «Автоматика энергосистем». Окончил в 2020 году факультет энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень бакалавра по направлению «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». E-mail: zolotov_aa@ekra.ru.

Петряшин Илья Евгеньевич, техник департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», студент 4 курса бакалавриата ЧГУ им. И.Н. Ульянова по направлению «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». E-mail: petryashin.i.e@mail.ru.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЕКТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И КРИВОЙ АБСОЛЮТНОЙ НЕРАСПОЗНАВАЕМОСТИ ЗАЩИЩАЕМОГО ОБЪЕКТА

Дементий Ю.А., Иванов В.А., ООО «Релематика», г. Чебоксары, Россия

Аннотация. В данной работе предложен метод построения объектной характеристики релейной защиты и кривой абсолютной нераспознаваемости защищаемого объекта, основанный на решении оптимизационной задачи. Составлена оптимизируемая функция, основанная на определении явления абсолютной нераспознаваемости. Приведён пример построена кривой абсолютной нераспознаваемости воздушной линии электропередач с двухсторонним питанием, наблюдаемой с одной стороны.

Ключевые слова: релейная защита, объектная характеристика, кривая абсолютной нераспознаваемости, оптимизируемая функция.

Селективность и чувствительность являются важными свойствами релейной защиты. Под селективностью релейной защиты понимается её способность срабатывать при коротких замыканиях в пределах защищаемой зоны (α -режимы) и не сра-